



Diseño técnico de un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable que permita el uso eficiente de la energía en el centro del cantón Saquisilí, concesión de ELEPCO S.A.

Ortiz Santiana, Kevin Alexander y Patiño Pérez, Erika Rossana

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica.

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

MSc. Freire Llerena, Washington Rodrigo.

Latacunga, 01 de diciembre del 2021



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "Diseño técnico de un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable que permita el uso eficiente de la energía en el centro del cantón Saquisilí, concesión de ELEPCO S.A.". Fue realizado por los estudiantes Ortiz Santiana, Kevin Alexander y Patiño Pérez, Erika Rossana, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 01 de diciembre de 2021



WASHINGTON
RODRIGO FREIRE
LLERENA

Ing. Freire Llerena Washington Rodrigo

C.C.: 180191088-4

REPORTE DE VERIFICACIÓN URKUND

26/11/21 20:10

DOCUMENTO DE TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

TITULACIÓN

NOMBRE DEL ALUMNO

KEVIN ALEXANDER ORTIZ SANTIANA

NOMBRE DEL ARCHIVO

Tesis_Ortiz_Patiño_Plagio

SE HA CREADO EL INFORME

23 nov 2021



Firmado digitalmente por:

WASHINGTON
RODRIGO FREIRE
LLERENA

Resumen

Fragmentos marcados	9	1 %
Fragmentos citados o entrecomillados	2	0,2 %

Coincidencias de la Web

cnelep.gob.ec	3	0,5 %
esmartcity.es	1	0,1 %
ucuenca.edu.ec	1	0,1 %
docplayer.es	1	0,1 %
books.google.com	1	0,1 %
inenreglamentacion.blogspot.com	1	0,1 %
coursehero.com	1	0,1 %
mecon.gov.ar	1	0,1 %
ups.edu.ec	1	0,1 %



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, *Ortiz Santiana, Kevin Alexander* y *Patiño Pérez, Erika Rossana* declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación “**Diseño técnico de un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable que permita el uso eficiente de la energía en el centro del cantón Saquisilí, concesión de ELEPCO S.A.**”, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecido por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetado los derechos intelectuales de terceros y referenciando en las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 01 de diciembre del 2021

Ortiz Santiana, Kevin Alexander
C.C.: 1723815849

Patiño Pérez, Erika Rossana
C.C.: 0503972374



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, *Ortiz Santiana, Kevin Alexander* y *Patiño Pérez, Erika Rossana* autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño técnico de un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable que permita el uso eficiente de la energía en el centro del cantón Saquisilí, concesión de ELEPCO S.A.**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 01 de diciembre del 2021

Ortiz Santiana, Kevin Alexander
C.C.: 1723815849

Patiño Pérez, Erika Rossana
C.C.: 0503972374

Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a mis padres Marco y Sonia, quienes han sido las personas las cuales me han dado la vida, gracias a su sacrificio diario, concejos y paciencia he llegado a ser la persona que hoy en día soy.

A mis hermanos Israel, Alan y Antonio quienes fueron parte fundamental en mis años de niñez y adolescencia, sigan adelante y luchen por sus sueños.

A todos mis familiares quienes me han apoyado de alguna u otra forma, especialmente dedico este trabajo a mi abuelita Laura que me cuida y protege desde el cielo.

A mi esposa Ángela quien ha estado conmigo brindándome apoyo incondicional estos últimos años y también a su familia.

Ortiz Santiana, Kevin Alexander

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación va dedicado:

A Dios por brindarme sabiduría, salud, paciencia, perseverancia y sobre todo enseñarme que su tiempo es perfecto.

A mis padres y a todas las personas que me han brindado apoyo en los momentos más difíciles de mi etapa universitaria, mismos que han sido mi fortaleza para llegar hasta aquí.

Finalmente, a todos los futuros profesionales quienes en su camino harán uso del presente para su formación académica.

Patiño Pérez, Erika Rossana

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios y a la Santísima Virgen por nunca dejarme solo y siempre escuchar mis plegarias.

Agradezco a mis amados padres Sonia y Marco por todo el apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos Israel, Alan y Antonio por todo lo que hemos compartido y siempre estar para escucharme.

A toda mi familia que me apoyó desde el principio de esta travesía.

A mi esposa Ángela y su familia por apoyarme en esta etapa de mi vida.

Al cuerpo docente de la Universidad, ya que muchos a más de ser docentes son amigos que ayudan a crecer como personas.

Al cuerpo de ingenieros de la ELEPCO S.A. por los aportes extras para la realización de este proyecto.

A mi compañera de tesis Erika por la disposición a la realización de este proyecto.

Ortiz Santiana, Kevin Alexander

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a mi familia, principalmente a mi madre Mirian Pérez, quién con su esfuerzo, dedicación y amor ha hecho todo lo posible por verme salir adelante, dándome siempre las mejores palabras y consejos de apoyo.

Un agradecimiento muy grande a mi querida Universidad, a la carrera y docentes, mismos que me han brindado victorias muy significativas en el ámbito académico, deportivo y social.

Agradezco también a todos los ingenieros que estuvieron al frente de este proyecto de investigación, siendo una guía y apoyo muy importante para que este se lleve a cabo con éxito.

Como no agradecer a mis amigos, compañeros y en especial a la persona que estuvo compartiendo conmigo los mejores y peores momentos. Gracias por su compañía y apoyo haciendo de este proceso más llevadero y ameno.

Patiño Pérez, Erika Rossana

Tabla de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación urkund.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Agradecimientos.....	9
Tabla de Contenidos	10
Índice de Figuras.....	15
Índice de Tablas	17
Resumen	19
Abstract.....	20
Problemática	21
<i>Antecedentes.....</i>	<i>21</i>
<i>Justificación e Importancia</i>	<i>22</i>
<i>Alcance del proyecto.....</i>	<i>23</i>
<i>Objetivos</i>	<i>25</i>

	11
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos	25
Marco Teórico.....	26
<i>Antecedentes investigativos</i>	<i>26</i>
<i>Fundamentación teórica.....</i>	<i>27</i>
Alumbrado Público.....	27
Alumbrado Público General (APG)	27
Alumbrado Público Ornamental	28
Alumbrado Público Intervenido	28
Luminarias.....	28
Equipo Auxiliar	29
Conceptos relacionados a luminotecnia	31
Normas que se utilizan en el alumbrado público.....	34
Regulación CONELEC N° 008/11.....	34
Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 (1R) “Alumbrado Público”	35
Sistema de telegestión	36
Sistema de transmisión	37
Arquitectura del sistema de telegestión	39
Iluminación LED.....	40
Red eléctrica subterránea	40
Herramientas computacionales	50
<i>Fundamentación teórica.....</i>	<i>51</i>
<i>Fundamentación conceptual</i>	<i>52</i>

	12
<i>Hipótesis</i>	53
<i>Variables de investigación</i>	53
Variable dependiente.....	53
Variable independiente.....	53
Metodología	54
<i>Modalidad de la investigación</i>	54
<i>Tipos de investigación</i>	54
Investigación exploratoria.....	54
Investigación descriptiva	54
Investigación de campo.....	55
Investigación bibliográfica.....	55
<i>Técnicas de recopilación de datos</i>	55
<i>Sistema actual</i>	56
Delimitación del área de estudio	56
Subestación	57
Circuito medio voltaje	57
Demanda actual	58
Transformadores de distribución.....	59
Sistema de alumbrado público actual.....	60
Tipo de vía según la norma CONELEC 008/11	62
Parámetros generales con luminaria de sodio.....	65
Resultados de la investigación	67
<i>Introducción</i>	67

	13
<i>Simulación Flujo de potencia del circuito actual.....</i>	<i>67</i>
Cálculo de la demanda proyectada.....	70
Circuito bajo voltaje	73
<i>Simulación actual de las vías tomadas como muestra.....</i>	<i>75</i>
Simulación de la Vía 1 (9 de Octubre).....	75
Simulación de la Vía 2 (24 de mayo).....	76
Resultados de la simulación actual de la vía 1 y la vía 2.	76
Propuesta	79
<i>Datos Informativos</i>	<i>79</i>
<i>Objetivos</i>	<i>80</i>
Objetivo General	80
Objetivos específicos.....	80
<i>Diseño de la red subterránea.....</i>	<i>80</i>
Red de medio voltaje	81
Red de bajo voltaje.....	84
<i>Simulación de alumbrado público con tecnología LED dimerizable</i>	<i>87</i>
<i>Análisis del consumo energético con tecnología LED dimerizable</i>	<i>91</i>
<i>Selección del sistema de telegestión.....</i>	<i>92</i>
<i>Arquitectura del sistema de tele gestión Owlet Nightshift.....</i>	<i>96</i>
<i>Diseño de la obra civil</i>	<i>98</i>
Banco de ductos	98
Relleno de zanja de ductos.....	99
Separación entre banco de ductos.....	99

	14
Profundidad	100
Tipo de ducto.....	100
Pozos.....	101
Tapas.....	103
Piso de los pozos	104
Soportes.....	105
Bases para la instalación de equipos.....	106
<i>Análisis económico.....</i>	<i>106</i>
Análisis económico del sistema eléctrico y alumbrado público.....	106
Análisis económico del sistema de control Owlet Nightshift.....	107
Conclusiones y Recomendaciones	110
<i>Conclusiones</i>	<i>110</i>
<i>Recomendaciones</i>	<i>111</i>
Bibliografía	112
Anexos	115

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema del diseño por etapas.....	24
Figura 2 Luminaria de alumbrado público.....	29
Figura 3 Lámpara de vapor de sodio de alta presión.....	30
Figura 4 <i>Niveles de telegestión</i>	37
Figura 5 <i>Redes inalámbricas versus velocidad de transmisión</i>	38
Figura 6 <i>Sistema de telegestión inalámbrica mediante la tecnología LoRaWAN</i>	39
Figura 7 <i>Lámpara led Avento para alumbrado público</i>	40
Figura 8 <i>Tendido de cables subterráneos</i>	41
Figura 9 <i>Configuración radial</i>	42
Figura 10 <i>Lazo abierto</i>	43
Figura 11 <i>Sistema mallado</i>	44
Figura 12 <i>Cable de medio voltaje con apantallamiento de hilos de cobre</i>	47
Figura 13 <i>Cables eléctricos subterráneos</i>	48
Figura 14 <i>Transformadores de tipo sumergible</i>	49
Figura 15 <i>Transformadores de tipo pedestal</i>	49
Figura 16 <i>Transformador convencional con frente muerto</i>	50
Figura 17 <i>Área de estudio</i>	56
Figura 18 <i>Circuito de medio voltaje</i>	58
Figura 19 <i>Curva de demanda del área de estudio</i>	59
Figura 20 <i>Perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema (V_{ab})</i>	69
Figura 21 <i>Perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema (V_{bc})</i>	69

Figura 22 Perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema (Vca).....	70
Figura 23 Resumen de pérdidas del sistema eléctrico actual	73
Figura 24 Circuito de bajo voltaje	74
Figura 25 Valoración de colores de acuerdo al nivel de voltaje	74
Figura 26 Simulación de la calle 9 de Octubre	75
Figura 27 Simulación de la calle 24 de Mayo.....	76
Figura 28 Circuito de medio voltaje proyectado	84
Figura 29 Resumen de pérdidas técnicas con el sistema eléctrico propuesto	85
Figura 30 Regulación de voltaje	86
Figura 31 Comparación de pérdidas	87
Figura 32 Simulación propuesta de la calle 9 de Octubre	89
Figura 33 Simulación propuesta de la calle 24 de Mayo	89
Figura 34 Arquitectura telegestión Owllet Nightshift.....	97
Figura 35 Topología de comunicación tipo mallado	97
Figura 36 Separador de ductos	98
Figura 37 Banco de ductos.....	101
Figura 38 Tapa de hormigón.....	103
Figura 39 Tapa de hierro esferoidal	104
Figura 40 Cámara subterránea	105
Figura 41 Soporte para conductores dentro de ductos.....	105
Figura 42 Transformador padmounted	106

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Color de acuerdo a la temperatura</i>	32
Tabla 2 <i>Subestación Mulaló</i>	57
Tabla 3 <i>Transformadores de distribución</i>	59
Tabla 4 <i>Medidas que corresponden a las calles del área de estudio</i>	60
Tabla 5 <i>Clase de eliminación de la calle 9 de Octubre según CONELEC 008/11</i>	68
Tabla 6 <i>Clase de eliminación de la calle 24 de Mayo según CONELEC 008/11</i>	68
Tabla 7 <i>Parámetros generales para simulación con luminaria de sodio</i>	65
Tabla 8 <i>Pérdidas de flujo de potencia</i>	68
Tabla 9 <i>Cargabilidad de transformadores</i>	68
Tabla 10 <i>Proyección de la demanda a 20 años</i>	71
Tabla 11 <i>Pérdidas a futuro del sistema actual</i>	72
Tabla 12 <i>Resultados de la simulación de la vía 1 y de la vía 2</i>	77
Tabla 13 <i>Parámetros fotométricos para las diferentes clases de iluminación</i>	77
Tabla 14 <i>Detalle de los transformadores proyectados</i>	82
Tabla 15 <i>Resumen de pérdidas en el circuito propuesto</i>	82
Tabla 16 <i>Resultado de la simulación propuesta de la vía y de la vía 2</i>	85
Tabla 17 <i>Selección del sistema de telegestión</i>	90
Tabla 18 <i>Selección del sistema de telegestión por puntuación</i>	92
Tabla 19 <i>Diámetros de ductos a partir del calibre de conductores</i>	95
Tabla 20 <i>Dimensiones de pozos</i>	100
Tabla 21 <i>Detalle del costo de la implementación del circuito propuesto</i>	102

Tabla 22 *Precios de equipos para el sistema de control Owlet Nightshift*..... 107

Tabla 23 *Precios de materiales e instalación del sistema de control Owlet Nightshift* 107

Resumen

El presente proyecto analiza la factibilidad técnica del diseño de un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación LED dimerizable, que permita el uso eficiente de la energía suministrada en el centro del cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi, en primera instancia se obtiene la mayor cantidad de características y condiciones actuales del sistema eléctrico y alumbrado público mediante la investigación de campo con la ayuda otorgada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.). Con la información obtenida para el desarrollo del proyecto se realiza la simulación de la red actual y propuesta de MV y BV, en el caso de alumbrado público de las vías tomadas como muestra, esto con el fin de adquirir la calidad de luminancia del sistema actual y proyectado, de tal manera que el cantón mejore estéticamente y los usuarios reciban un servicio de calidad. Posteriormente se plantea un sistema de telegestión para controlar el sistema de iluminación, con el propósito de aprovechar de mejor manera la energía eléctrica y evaluar el comportamiento de la propuesta acorde al cumpliendo con las normativas nacionales correspondientes. Finalmente se realiza un análisis económico del sistema propuesto que servirá para una futura implementación.

Palabras clave:

- **SOTERRAMIENTO ELÉCTRICO**
- **ILUMINACIÓN LED DIMERIZABLE**
- **ALUMBRADO PÚBLICO**

Abstract

This project analyzes the technical feasibility of the design of an underground system of medium voltage, low voltage and public lighting with remote management and dimerizable LED lighting, which allows the effective use of the energy supplied in the center of the canton Saquisilí, province of Cotopaxi, in the first instance the greatest number of characteristics and current conditions of the electrical system and public lighting is obtained through the field investigation with the help granted by the Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.). With the information obtained for the development of the project, the simulation of the current network and proposal of medium voltage and low voltage is carried out, in the case of public lighting of the roads taken as a sample, this in order to acquire the luminance quality of the current and projected system, in such a way that the canton improves aesthetically and users receive a service of quality. Subsequently, a remote management system is proposed to control the lighting system, with the purpose of making better use of electrical energy and evaluating the behavior of the proposal in accordance with compliance with the corresponding national regulations. Finally, an economic analysis of the proposed system is carried out that will serve for a future implementation.

Key words:

- **BURIAL ELECTRICAL**
- **LIGHT EMITTING DIODE DIMERIZABLE**
- **STREET LIGHTING**

CAPÍTULO I

1. Problemática

1.1. Antecedentes

El centro histórico del cantón Saquisilí se origina en el parque La Concordia denominándose la matriz del cantón, presumiblemente este va creciendo a su alrededor, 24 años más tarde de su independencia el municipio del cantón compra en bloque el servicio eléctrico para su distribución. (Paredes, 2018)

Está conectado desde el sur a través de la S/E San Rafael que posee un transformador de potencia de 16/20 MVA con un nivel de voltaje de 69/13,8 kV, y de la S/E Mulaló con un transformador de potencia de 10/12,5 MVA con un nivel de voltaje de 69/13,8 KV; existe un proyecto previo relacionado al soterramiento de la zona central del cantón por parte de ELEPCO S.A. (MEER, 2015)

Según (ARCONEL, 2020) la Regulación 006/18, de acuerdo al inciso 5 dentro de las instituciones y personas que intervienen en la prestación de Servicio de Alumbrado Público General (SAPG) están las distribuidoras en coordinación con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD), el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y autoridad de tránsito competente en los casos que corresponda, por otro lado en el artículo 62 de la LOSPEE en su segundo inciso señala que el alumbrado público ornamental estará a cargo del gobierno autónomo descentralizado, con la autorización de la entidad que en su momento es responsable del espacio público, siendo sus costos cofinanciados por estas entidades, dicho gobierno es el encargado de proporcionar un alumbrado público ornamental adecuado para dar seguridad y bienestar a los habitantes de la ciudad.

En el caso del Alumbrado Público General (APG) la entidad encargada del servicio recae en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi. (ELEPCO S.A.). Según (Chincheró, Alonzo, & Ortiz, 2020) en su estudio menciona que; los sistemas de iluminación LED (light-emitting diode) se han convertido en los más utilizados, reemplazando cada vez más las lámparas tradicionales en la industria, así también en diferentes ámbitos como en el alumbrado público, semaforización, señalización, entre otros. La iluminación LED ha sido una de las más acertadas por sus grandes ventajas, mismas que se han tomado en cuenta para el beneficio del sector público y privado, teniendo grandes avances con visión hacia el futuro.

Según (Barbosa, Noguera, & Giral, 2017) para el reemplazo de lámparas convencionales a lámparas LED dimerizable, al ser una tecnología en la que se puede regular el flujo luminoso se convierte en una fuente de armónicos muy considerable por lo que es necesario un sistema que permita controlar el alumbrado público de manera eficiente tomando en cuenta los efectos negativos que presenta la distorsión armónica.

1.2. Justificación e Importancia

El proyecto tiene la intención de optimizar la calidad de servicio aprovechando de mejor manera la energía eléctrica, para esto se pretende utilizar luminarias con nuevas tecnologías, además se tendrá un sistema de telegestión en el alumbrado público proporcionando una gran cantidad de ventajas como la disminución del consumo de energía, el aumento de eficiencia energética, detección rápida de inconsistencias en el sistema de iluminación, incremento de tiempo útil de las luminarias con una mejor calidad de servicio y control remoto de operaciones relacionadas con el suministro (encendido, apagado, etc.).

En cuanto a la propuesta de soterramiento, se obtiene beneficios como la reducción de pérdidas técnicas y no técnicas, poca contaminación visual en comparación con el sistema eléctrico actual, disminución de los índices TTIK (Tiempo Total de Interrupción por KVA nominal instalado) y FMIK (Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado).

Por estas razones es necesario realizar un estudio de factibilidad técnica del servicio de energía eléctrica en el centro histórico del cantón Saquisilí donde se analice las diferencias entre el sistema actual y el sistema propuesto, además destacar los beneficios del sistema eléctrico propuesto.

1.3. Alcance del proyecto

El trabajo presente tiene la finalidad de diseñar un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable para el uso eficiente de la energía en el centro histórico del cantón Saquisilí, este diseño es capaz de disminuir las pérdidas técnicas y no técnicas del sistema eléctrico y alumbrado público, el sistema de telegestión aportará a la disminución del consumo de energía, mayor eficiencia y detección de posibles anomalías. El centro histórico del cantón Saquisilí presenta una contaminación visual considerable por lo que se diseña este sistema soterrado de MV y BV para el mejoramiento estético del lugar con una distribución eficiente de energía eléctrica disminuyendo los índices TTIK y FMIK.

El proyecto consta de 4 etapas como se muestra en la Figura 1: Simulación del diseño actual de MV, BV, diseño del sistema de soterramiento de MV, BV, análisis del alumbrado público con led dimerizable, sistema de telegestión

Al realizar la simulación del diseño actual de MV, BV, se hace un estudio de tal manera que posteriormente se pueda comparar el sistema actual y propuesto.

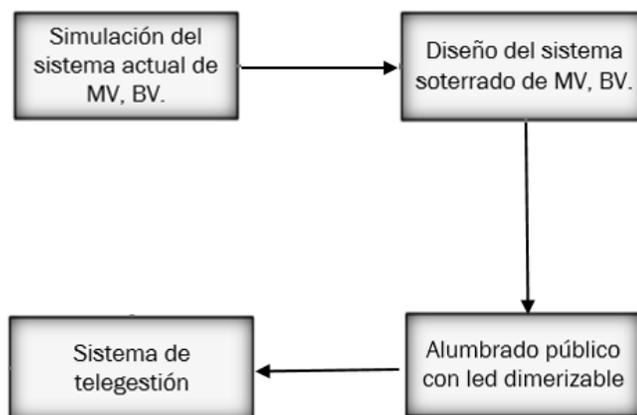
En el diseño soterrado de MV, BV, se realiza la simulación correspondiente, el diseño de la obra civil que consta de banco de ductos, diseño de pozos, tapas, pisos de pozos, soportes, teniendo en cuenta la normativa respectiva.

Sistema de telegestión, denominada también etapa de control, se analizará la factibilidad de implementación de este sistema con el estudio de diferentes tipos de comunicaciones ya sean estas alámbricas e inalámbricas.

Finalmente, en la etapa de alumbrado público con iluminación led dimerizable, se analiza la factibilidad de colocar en el sistema led con tecnologías nuevas que ofrezcan mayores ventajas, para ello se realiza simulaciones del sistema de iluminación actual y el propuesto.

Figura 1

Esquema del diseño por etapas.



Nota. El gráfico representa de forma ordenada las etapas que tomadas en cuenta para realiza el presente proyecto.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable que permita el uso eficiente de la energía en el centro del cantón Saquisilí.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información actual de las redes de MV, BV y alumbrado público en el centro del cantón Saquisilí.
- Analizar los distintos tipos de sistemas de telegestión en conjunto con luminarias LED dimerizable, que se podría aplicar al servicio del alumbrado público en el centro histórico del cantón Saquisilí.
- Disminuir las pérdidas técnicas y no técnicas del sistema eléctrico y alumbrado público.
- Plantear un sistema de telegestión que ayude con el mejoramiento de la eficiencia energética en el centro del cantón Saquisilí.
- Simular el sistema eléctrico actual y el sistema eléctrico propuesto mediante software.
- Validar el estudio de factibilidad del sistema propuesto.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes investigativos

El objetivo de la investigación de (Quezada, 2020) es analizar los aspectos constructivos del soterramiento de redes de distribución de electricidad y alumbrado público del proyecto de Regeneración Urbana, dentro del estudio se encuentra los parámetros de diseño y construcción de la obra civil. Se realizó la descripción de los sistemas de automatización para el control, supervisión y adquisición de datos mediante SCADA y para el control de MV y alumbrado público por telegestión, además se aplica técnicas basadas en RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad).

En la investigación de (García, 2015) se aplica la nueva normativa emitida por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, con la simbología en los planos de diseño, la codificación de las unidades de propiedad, la forma de construcción de las redes, entre otros. Para este estudio se delimitó el área de influencia en donde se realizó el levantamiento de información correspondiente necesarios para la realización de los cálculos de ingeniería y el diseño de la red.

En este estudio de (Barbosa A., Noguera L., & Giral W., 2017) se analiza el comportamiento eléctrico enfocado a la distorsión armónica provocada por la iluminación LED, dentro de este estudio la distorsión armónica por LED dimerizable es reducida a partir del uso de controladores de tipo PWM, caso contrario la distorsión armónica es elevada cuando se utiliza controladores de tipo TRIAC. La iluminación LED dimerizable al ser una fuente no lineal, es

una fuente de armónicos, por eso es importante la utilización de controladores y filtros que disminuyan la distorsión armónica provocada por esta tecnología.

En la investigación (Lojano F. & Orellana L., 2014) se realizó un análisis técnico y económico de una opción tecnológica denominada luminarias LED que pueden reemplazar a las luminarias convencionales con la finalidad del mejoramiento de la calidad del sistema de alumbrado público, los autores consideran que el uso de este tipo de tecnología no es nuevo, pero con los avances tecnológicos sería una buena opción. El estudio fue llevado a cabo en una arteria de circulación de la ciudad de Cuenca denominada “El Valle” con una longitud aproximada de 4.36 Km.

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Alumbrado Público

El alumbrado público compone la iluminación de espacios públicos y vías dedicados a la seguridad, movilidad y ornamento, se clasifica en alumbrado público intervenido y en alumbrado público general. (ARCONEL, Regulación N° 006/18, 2018)

La finalidad del alumbrado público es proporcionar energía luminosa a zonas de tránsito público como calles, parques, plazas, etc. (Pulla, 2013)

2.2.2. Alumbrado Público General (APG)

Corresponde a la iluminación de rutas públicas por donde transitan vehículos y peatones, se excluye de la iluminación ornamental y la iluminación intervenida. (ARCONEL, Regulación N° 006/18, 2018)

2.2.3. Alumbrado Público Ornamental

Describe a la iluminación de zonas públicas como parques, espacios recreacionales, iglesias, lugares abiertos, etc. Esta iluminación es diferente de los niveles establecidos por la regulación para APG ya que se inclinan más a criterios estéticos que son determinados por el correspondiente gobierno autónomo descentralizado, no se considera ningún tipo de bombas o motores que intervengan en el funcionamiento de cualquier tipo de zona anteriormente mencionada. (ARCONEL, Regulación N° 006/18, 2018)

2.2.4. Alumbrado Público Intervenido

Refiere a la iluminación intervenida o modificada con respecto a los niveles de iluminación establecidos por la regulación, o requieren una infraestructura diferente de los establecidos para APG. (ARCONEL, Regulación N° 006/18, 2018)

2.2.5. Luminarias

Una luminaria está conformada por distintos componentes los cuales son equipos eléctricos, equipos electrónicos, equipos mecánicos, lámpara y equipos ópticos, estos se encargan de suministrar luz visible. Es necesario aplicar las normas vigentes en cada país para prestar un correcto funcionamiento. (Pulla, 2013)

La luminaria debe garantizar la continuidad del servicio de alumbrado, es decir que debe estar en la capacidad de soportar varios factores como polvo, condiciones climáticas, etc.

Figura 2

Luminaria de alumbrado público.



Nota. Luminaria típica de sodio. Recuperado de Infocañuelas, Alumbrado Público: Cambio de Luminaria de Sodio por LED. Tomado de (InfoCañuelas, 2019)

Para la iluminación de las calzadas es común utilizar luminarias de distribución simétricas ya que la longitud es más representativa que el ancho y por ende brinda un alto aprovechamiento de la iluminación.

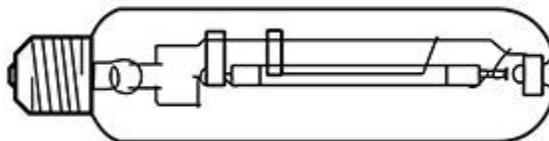
2.2.6. Equipo Auxiliar**2.2.6.1. Lámpara de vapor de sodio de alta presión.**

Estas lámparas se caracterizan por su distribución espectral, dicha distribución casi alcanza todo el espectro visible, esto brinda una luz blanca amarillenta más agradable que las lámparas de baja presión. (Pulla, 2013)

Esta lámpara posee mercurio lo cual actúa como un amortiguamiento, también posee gas xenón el cual ayuda al encendido y a restringir la conducción de calor en la pared del tubo.

Figura 3

Lámpara de vapor de sodio de alta presión.



Nota. El gráfico representa una Lámpara de vapor de sodio de alta presión. Tomado de Catálogo EFIMARKET. (ADIM, 2017)

2.2.6.2. Lámpara.

Es la que se encarga de administrar iluminación, en la actualidad las más utilizadas son las de vapor de sodio de alta presión, también se las conoce como fuente de luz.

2.2.6.3. Balasto.

Es un equipo limitador y estabilizador de corriente, la limita hasta el valor necesitado para un buen funcionamiento de las lámparas, va montado dentro y es protegido por la luminaria. (Salvador, 2009)

2.2.6.4. Fotocelda.

Es un dispositivo el cual se encarga de abrir o cerrar automáticamente un circuito dependiendo únicamente de la variación de luminosidad del entorno que lo rodea.

2.2.6.5. Fusible.

Es un componente eléctrico el cual sirve para protección contra sobrecorrientes que pueden existir en un circuito, el material se funde a una cierta cantidad de corriente que circule sobre este componente dejando el circuito abierto.

2.2.7. Conceptos relacionados a luminotecnia

2.2.7.1. Luminotecnia.

Es la ciencia que estudia el arte de la iluminación artificial, las diferentes formas de crear luz, su control como también sus aplicaciones. (Acurio & Flores, 2013)

2.2.7.2. La luz.

La luz no es más que una manifestación de la energía, puede ser en forma luminosa como también de forma calorífica, se lo percibe a través del órgano de la vista y también por medio del órgano del tacto. (Acurio & Flores, 2013)

2.2.7.3. Color de luz y temperatura de color.

El color de la luz de una lámpara está relacionado directamente con la cantidad de luz que esta emite. En el caso de las lámparas incandescentes la dispersión de luz es efecto de la temperatura del filamento, de ahí deriva el termino temperatura de color.

Para el caso de las lámparas de descarga se necesita recurrir a la comparación de la temperatura de color más parecida, en la práctica se realiza una clasificación de blanco luz diurna, luz blanco cálido y blanco neutral. (Pulla, 2013)

Tabla 1

Color de acuerdo a la temperatura.

VALORES DE TEMPERATURAS	
LÁMPARAS FLUORESCENTES	
Blanco cálido	3000°K
Luz día	6500°K
LÁMPARAS INCANDESCENTES	
Normales	2600°K
HALÓGENOS METÁLICOS	
	4000-6000°K

Nota. En la tabla 1 se muestra el color de las lámparas de acuerdo a la temperatura. Tomado de Repositorio Institucional Universidad de Cuenca (p.28). (Luis & Córdova, 2015)

2.2.7.4. Magnitudes y unidades fundamentales luminosas.

Las magnitudes y unidades fundamentales que son empleadas para la medición cuantificativa de los efectos de las fuentes luminosas son las siguientes:

- Flujo luminoso
- Iluminancia
- Luminancia
- Intensidad luminosa
- Energía luminosa
- Rendimiento luminoso

2.2.7.5. Flujo luminoso.

Es la energía luminosa emanada en todas las posibles direcciones por una fuente de luz en una unidad de tiempo. La unidad de medida es el Lumen [Lm] y se representa por la letra griega Φ .

2.2.7.6. Iluminancia.

Es el índice que cuantifica la cantidad de flujo luminoso existente en un área determinada, la unidad de medida es el Lux [Lm/m²], la luminancia se obtiene mediante la ecuación [1] que se muestra a continuación:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad [1]$$

Donde:

E : Iluminancia [Lx] = [Lm/m²]

Φ : Flujo luminoso [Lm]

S : Superficie a iluminar [m²]

El lux representa el flujo luminoso disperso uniformemente en un metro cuadrado de superficie.

2.2.7.8. Luminancia.

Es la relación existente entre la intensidad luminosa y una superficie iluminada. La unidad de medida es la candela sobre metro cuadrado (cd/m²) y se simboliza con la letra L .

$$L = \frac{I}{S * \cos(\alpha)} \quad [2]$$

Donde:

L : Luminancia [cd/m²]

I : Intensidad luminosa [cd]

$S * \cos(\alpha)$: Superficie aparente [m²]

El cuerpo humano interpreta a la luminancia como la claridad, pues la luz no se hace evidente hasta cuando es reflejada en algún cuerpo. (Castro & Posligua, 2015)

2.2.8. Normas que se utilizan en el alumbrado público

Los principales organismos de normalización utilizados en iluminación son:

- IEC (International Electrotechnical Comision) (Internacional)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) (EE.UU.)
- ANSI (American National Standards Institute) (EE.UU.)

2.2.9. Regulación CONELEC N° 008/11

El objetivo de la regulación está en estandarizar los parámetros técnicos que dispongan a las empresas eléctricas de distribución brindar el servicio de APG con eficiencia y calidad.

(CONELEC, 2006)

Se detalla algunos de los aspectos técnicos que se estiman en esta regulación.

2.2.9.1. Luminancia promedio de la calzada (L_{av}).

La norma CIE 132-19992 establece el cálculo y la medición de la luminancia promedio de la calzada, teniendo en consideración que el L_{av} es el valor mínimo que se debe persistir en la vida de la instalación, esta luminancia depende de las propiedades de reflexión de la vía, el flujo luminoso y la distribución de la luz de la luminaria.

2.2.9.2. Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o).

La uniformidad general de la luminancia de la calzada es la relación entre la mínima luminancia y la luminancia promedio de la calzada. Su magnitud depende de los factores anteriormente mencionados para la luminancia promedio.

2.2.9.3. Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L).

La relación de la mínima luminancia y la luminancia máxima es conocida como la U_L , estas pueden ser medidas o también calculadas longitudinalmente en el eje central de la calzada.

2.2.9.4. Vías para tráfico motorizado.

Las clases de alumbrado están enlistadas desde M1 hasta M5, son clasificadas de acuerdo a la ocupación de la calzada, la cantidad, separación, complejidad y densidad del tráfico, así también como la facilidad para el control de dicho factor.

2.2.10. Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 (1R) "Alumbrado Público"

2.2.10.1. Objeto.

El reglamento tiene como objeto establecer las exigencias que deben desempeñar los elementos y equipos que conforman el sistema de APG, garantizando la calidad de la energía. (INEN, 2015)

2.2.10.2. Campo de aplicación.

Este reglamento es aplicable a los productos que se originen, importen y que se distribuyan en Ecuador, los cuales forman parte del APG.

- Luminarias y proyectores.
- Lámparas, módulos y luminarias LED para alumbrado público.
- Lámparas de vapor de sodio de alta presión.
- Carcaza para luminaria de aluminio y plástico.
- Balastos
- Condensadores.

- Foto controles.
- Temporizadores (relés de conmutación). (INEN, 2015)

2.2.11. Sistema de telegestión

El sistema está comprendido por varios subsistemas entre los cuales comprende la automatización y la comunicación, permitiendo el control de luminarias, configuración del nivel de iluminación y notificar la existencia de fallas en el sistema.

El sistema de control para el alumbrado público es el que se encarga del encendido y apagado de las luminarias, esto permite un uso eficiente de la energía.

2.2.11.1 Niveles de telegestión.

Por medio del uso de conexión a internet se puede controlar las luminarias de un área determinada sin importar cuál sea la ubicación de esta, este modelo de telegestión se presenta en tres etapas como se muestra a continuación.

Figura 4

Niveles de telegestión.



Nota. El gráfico muestra un modelo por etapas, nivel I dispositivo en luminarias, nivel II de distribución, nivel III de control. Tomado de Plan piloto de telegestión para el control de alumbrado público para la vía Cuenca-Descanso (p.111). (Encalado, 2012)

2.2.12. Sistema de transmisión

2.2.12.1. Alámbrica.

2.2.12.1.1. PLC (Power Line Communications).

Con esta tecnología se puede transmitir y recibir datos utilizando la red eléctrica con la conexión de un modem PLC, tiene un ancho de banda de entre 45Mbps y 135 Mbps y una frecuencia que está dentro del intervalo de 20kHz y 200kHz, en cuanto a sus ventajas cuenta con una instalación sencilla por que la infraestructura está previamente instalada, tiene conexión segura y veloz de internet, las emisiones de radiación es de 1mW, por otro lado este tipo de comunicación necesita redes en buen estado con una distancia limitada de 100 metros, siendo esta una de sus mayores desventajas. (Encalado, 2012)

2.2.12.2. Inalámbrica.

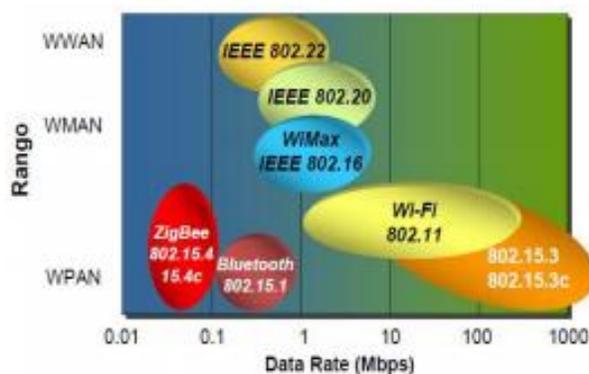
La comunicación inalámbrica se utiliza con la finalidad de enviar y recibir información sin necesidad de conectarlo a la red eléctrica mediante cables, para esto se utiliza diferentes alternativas según protocolos de comunicación como:

- Redes inalámbricas de área personal (WPAN)
- Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)
- Redes inalámbricas de área extensa (WWAN)

Todas estas redes inalámbricas se encuentran conectadas mediante diferentes tecnologías como Bluetooth o 802.15.4, Wi-Fi o 802.11, Zigbee o IEEE 802.15.4, WiMax o IEEE 802.16, IEEE 802.20, IEEE 802.22, 802.15.3, 802.15.3c, mismos que se encuentran en diferentes rangos de acuerdo a su velocidad de transmisión como se puede observar en la figura 5.

Figura 5

Redes inalámbricas versus velocidad de transmisión.



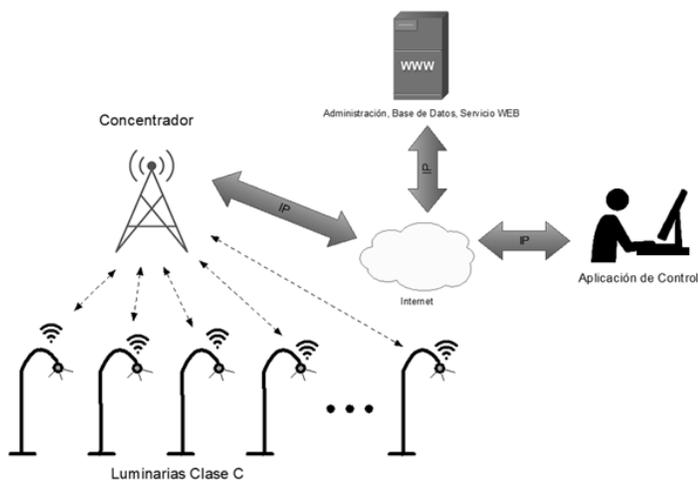
Nota. El gráfico muestra la distribución de redes inalámbricas con diferentes tecnologías según la velocidad de transmisión de datos. Tomado de Unlocked, Fundamentals in Telemangement of Públíc Lighting Service (p.13). (Suárez, 2010)

2.2.13. Arquitectura del sistema de telegestión

Como se muestra en la figura a continuación, el sistema de control envía comandos al concentrador y estos son transmitidos hacia las luminarias, la información obtenida de cada luminaria es guardada para análisis futuros en la base de datos PostgreSQL, el sistema utiliza NTP (Network Time Protocol), disponibles en la nube, para acceder al sistema mediante la aplicación del control es necesario un usuario y contraseña desde cualquier dispositivo que cuente con internet. (Samaniego, 2019)

Figura 6

Sistema de telegestión inalámbrica mediante la tecnología LoRaWAN.



Nota. En el gráfico se puede observar el esquema de conexión inalámbrica mediante arquitectura LoRaWAN. Tomado de ESMARCITY, Sistema de telegestión para luminarias públicas LED en el casco urbano central de la ciudad de Loja (p.3). (Samaniego, 2019)

2.2.14. Iluminación LED

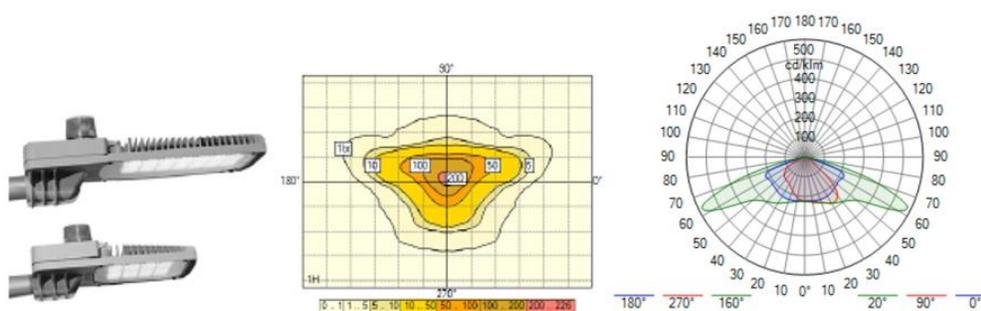
Se denomina lámparas LED al conjunto de diodos emisores de luz, a eso se debe su nombre por sus siglas en inglés Light Emission Diode, los cuales son elementos electrónicos formados por la unión de materiales semiconductores con características distintas.

2.2.14.1. LED dimerizable.

Comprende a las lámparas con tecnología LED, pero con la característica de poder regular la intensidad luminosa de acuerdo a la demanda o necesidad del usuario.

Figura 7

Lámpara led Avento para alumbrado público.



Nota. El gráfico muestra una lámpara led Avento 5196 con sus distribuciones fotométricas.

Tomado de catálogo Schédere (p.14). (Schröder, 2021)

2.2.15. Red eléctrica subterránea

Esta red está formada por cables subterráneos debidamente protegidos, siendo estos uno de los elementos fundamentales de las redes eléctricas, la red subterránea tiene diferentes bondades en comparación a la red aérea como mayor confiabilidad mejorando considerablemente la estética del lugar donde se va a implementar.

Los sistemas de distribución con una red eléctrica subterránea tienen menor posibilidad de falla por lo que ha sido una de las principales opciones para las empresas de distribución de energía, sin embargo, estos sistemas son difíciles de monitorear lo que conlleva mucho tiempo localizar una falla y la reparación de la misma, es por esto que a medida que pasa el tiempo se realizan estudios para evaluar la probabilidad de falla para cables subterráneos que se encuentran en servicio. (Nemati, Snat, & Nowaczyk, 2015)

El reemplazo adecuando de un sistema aéreo por un sistema soterrado reduce la tasa de mortalidad por accidentes eléctricos además si el sistema esté construido con materiales de alta calidad se prolonga su tiempo de vida útil. (Kavya & Anitha, 2020)

Figura 8

Tendido de cables subterráneos.



Nota. El gráfico muestra cómo se encuentran ubicados los cables de forma subterránea. Tomado de International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (p.248). (Kavya & Anitha, 2020)

2.2.15.1. Topología de la Red de distribución.

La topología de una red de distribución apunta al trayecto en donde se encuentran los alimentadores primarios para el suministro correcto de energía eléctrica en la zona definida.

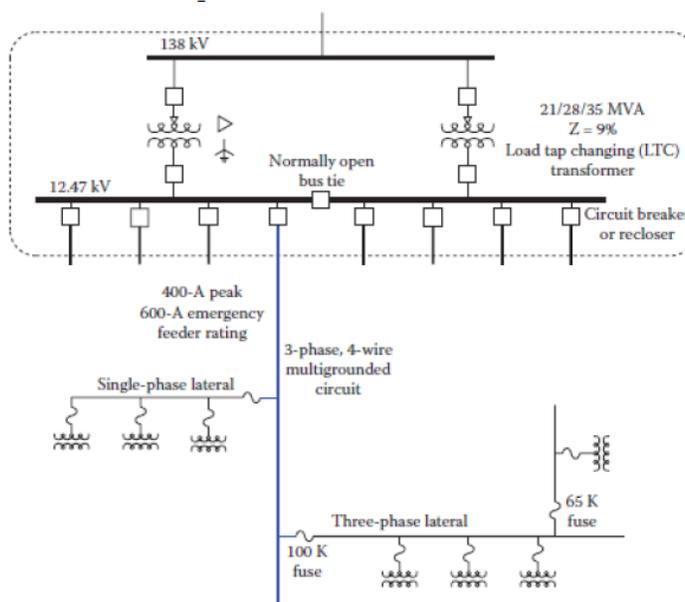
Se ha venido utilizando diferentes tipos de topologías en las redes subterráneas, implementadas usualmente en zonas urbanas, dentro de estos se distinguen los más importantes y confiables como son: configuración tipo radial, anillo en lazo abierto, sistema mallado. (Solís & Arcos, 2018).

2.2.15.1.1. Configuración radial.

Este tipo de configuración es uno de los más utilizados en nuestro país para redes subterráneas a pesar de que cuenta con un grado de confiabilidad relativamente bajo, se implementa de manera semejante a las redes aéreas de acuerdo a la coordinación de protecciones, teniendo como ventaja la facilidad para su implementación en un sistema de red eléctrica subterránea. (Solís & Arcos, 2018).

Figura 9

Configuración radial.



Nota. El gráfico muestra la trayectoria de un sistema radial distribuyéndose en forma de “rama”.

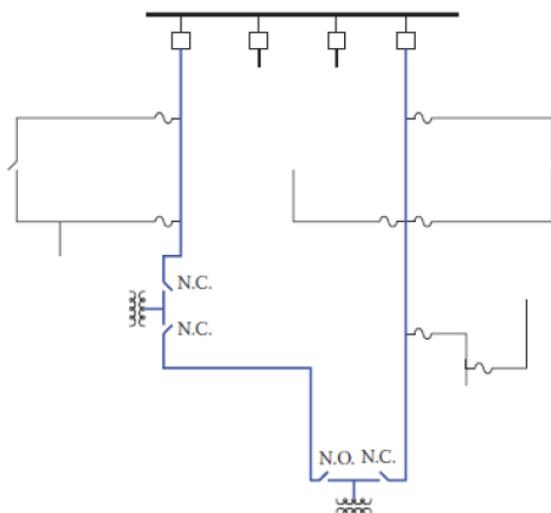
Recuperado de ResearchGate (p.9). (Solís & Arcos, 2018).

2.2.15.1.2. Anillo en lazo abierto.

Un segundo tipo de topología empleado en sistemas subterráneos es la configuración de anillo en lazo abierto, conocido también como “open loop”, este sistema se encuentra acoplado a la fuente con doble conexión como se muestra en la figura 7, aislando posibles fallas que se pueden presentar en el circuito primario, además de alimentar el sistema desde otro punto para reducir el tiempo de reparación de la falla, mejorando así su confiabilidad, así también este sistema se asemeja al sistema radial teniendo sus mismos beneficios con una doble alimentación. (Solís & Arcos, 2018)

Figura 10

Anillo en lazo abierto.



Nota. El gráfico muestra la configuración de anillo en lazo abierto u “open loop”. Recuperado de ResearchGate (p.10). (Solís & Arcos, 2018).

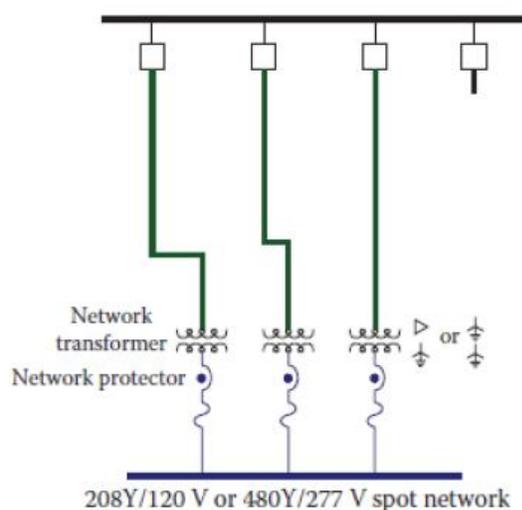
2.2.15.1.3. Sistema mallado.

Denominada también configuración “Spot Network”, este tipo de sistema tiene mayor confiabilidad en la alimentación si se lo compara con la configuración radial, es por esto que se

emplea en diferentes áreas comerciales que requieren de altos niveles de confiabilidad, así también se implementa en diferentes áreas estratégicamente importantes, sin embargo, es complicada su implementación por la coordinación de protecciones. (Solís & Arcos, 2018)

Figura 11

Sistema mallado.



Nota. El gráfico muestra la configuración de un sistema mallado o “Spot Network”. Recuperado de ResearchGate (p.10). (Solís & Arcos, 2018)

2.2.15.2 Conceptos para el diseño de un sistema de distribución.

2.2.15.2.1. Demanda.

Es el promedio de la carga en los terminales receptores y el intervalo específico de tiempo, para esto es necesario conocer el intervalo y forma de medición. La demanda puede ser necesaria para determinar la potencia real, potencia reactiva y potencia total. (Calvo, 1980)

2.2.15.2.2. Demanda máxima.

En un período de tiempo la demanda máxima es la mayor demanda que se presenta en un intervalo específico de tiempo este puede ser diario, mensual o anual, la demanda máxima se encuentra expresada en unidades de KW, KVA, amperios entre otras. (Calvo, 1980)

2.2.15.2.3. Carga.

La carga es la cantidad de potencia eléctrica respecto al tiempo entregada o recibida en condiciones normales, aplicada en un sistema eléctrico. (Recalde, 2004)

2.2.15.2.4. Pérdidas.

Las pérdidas son producidas a medida que la energía eléctrica transita desde centrales de generación, redes de transmisión y distribución, integrando ineficiencias a través del tiempo provocados por errores anteriormente suscitados y no solucionados oportunamente. (Ochoa, 2006)

2.2.15.2.5. Pérdidas técnicas.

Las pérdidas técnicas se deben a fenómenos físicos producidos en la conducción y transformación de energía eléctrica, compone también la energía que no es aprovechada cuando es disipada. (Ochoa, 2006)

2.2.15.2.6. Pérdidas no técnicas.

Las pérdidas no técnicas constituyen la tensión y corriente eléctrica por el efecto Joule, es importante la pérdida económica que representa a la empresa a pesar de no recibir ninguna retribución por el servicio prestado, dentro de las pérdidas no técnicas se encuentra un sistema de medición defectuosa, lectura ineficiente, facturación inadecuada entre otros. (Ochoa, 2006)

2.2.15.2.7. Caída de voltaje.

La caída de tensión es uno de los principales índices de calidad de energía eléctrica por lo que es importante ofrecerle al usuario los índices de caída de tensión normales manteniéndose dentro del rango específico teniendo en cuenta que una caída de tensión mayor al 10% provoca que el usuario tenga problemas en la energía eléctrica. (Juárez, 1987)

2.2.15.3. Componentes y elementos que conforman una red subterránea en M.T. Y B.T.

2.2.15.3.1. Obra civil.

Dentro de la obra civil se encuentra las características técnicas para la construcción de zanjas, bancos de ductos, pozos, excavaciones, entre otros además forma parte de la obra civil todo lo que contiene los cables de energía. (Gonzales, 2015)

2.2.15.3.2. Zanjas.

Se define como excavaciones que se llevan a cabo por debajo de la superficie de forma manual, la excavación de forma mecánica no es recomendable puesto que en zonas donde existen instalaciones de algunos servicios como teléfono, agua potable entre otros corren riesgos de una posible avería. (Gonzales, 2015)

2.2.15.3.3. Ductos y canalizadores.

Los ductos son las tuberías que alojan a los conductores de media y baja tensión de forma subterránea protegiéndolos del deterioro y la contaminación. (Quedaza, 2020)

2.6.15.3.4. Pozos de revisión.

En estos pozos se realizan los empalmes de los conductores contienen de la red de medio y bajo voltaje, a partir de estos se derivan las acometidas, estos pozos son diseñados para permitir el acceso a los ductos o tuberías que alojan a los conductores. (Quedaza, 2020)

2.6.15.3.5. Cámaras eléctricas.

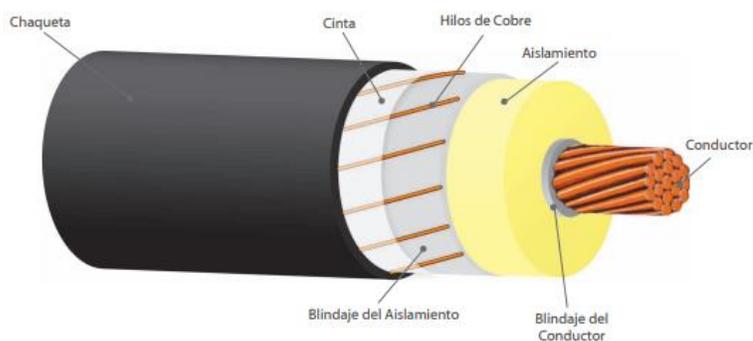
Las cámaras eléctricas contienen los elementos eléctricos necesarios para la red subterránea como tableros de control, celdas y demás. (Quedaza, 2020)

2.6.15.3.6. Cables subterráneos.

Según (Suarez, 2018) para la elección adecuada del cable subterráneo es importante conocer distintas características del mismo como la capacidad técnica, el material dentro del cable entre otros, para media tensión es necesario un conductor en el caso de ser monofásico y por tres conductores si es trifásico, en cuanto a la estructura pueden ser de aluminio o cobre, la aislación de papel o compuestos poliméricos, diferentes capas adicionales que sirven como protección mecánica como se muestra en la figura:

Figura 12

Cable de media tensión con apantallamiento de hilos de cobre.



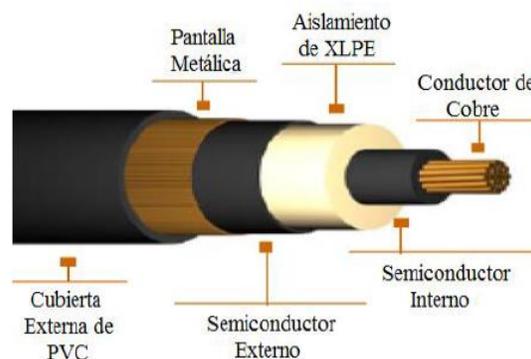
Nota. El gráfico muestra las partes que conforma un cable de media tensión con apantallamiento de hilos de cobre con función de blindaje actuando como conductor neutro del sistema. Recuperado de catálogo de cables de energía y telecomunicaciones S.A. (p.9). (CENTELSA, 2018)

Los cables subterráneos más utilizados son los que tienen aislantes secos como policloruro de vinilo (PVC) que operan ente 17,3 y 30 KV, polietileno reticulado (XLPE).

(Quedaza, 2020)

Figura 13

Cables eléctricos subterráneos.



Nota. El gráfico muestra uno de los cables eléctricos subterráneos más utilizado con sus respectivas partes. Tomado de Repositorio Digital-Universidad de Loja (p.14). (Quedaza, 2020)

2.6.15.3.7. Cámaras de transformación.

Es el espacio donde se encuentran ubicados los transformadores, este lugar debe tener las dimensiones cumpliendo con las normas MEER. (Áviles & Rodríguez, 2017)

2.6.15.4. Transformadores de distribución.

Este tipo de transformadores transfiere energía con cambio de valores de voltaje y corriente mediante inducción electromagnética. (Quedaza, 2020)

Para el soterramiento se puede aplicar los siguientes tipos de transformadores:

2.6.15.4.1. Transformadores tipo sumergible.

Estos transformadores están en bóvedas o cámaras subterráneas diseñadas con un sistema de drenaje para que no existan inundaciones. (Áviles & Rodríguez, 2017)

Figura 14

Transformadores de tipo sumergible.



Nota. El gráfico muestra el transformador sumergible de 150KVA. Tomado de Catálogo Rymel S.A. (Rymel, 2021)

2.6.15.4.2. Transformadores de tipo pedestal.

Son transformadores que comúnmente son utilizados para redes subterráneas por su facilidad de instalación o mantenimiento ya que no se encuentra en una bóveda es decir está ubicado a la intemperie. (Áviles & Rodríguez, 2017)

Figura 15

Transformadores de tipo pedestal



Nota. El gráfico muestra el transformador tipo pedestal, mismo que es usado comúnmente en instalaciones subterráneas por su facilidad de mantenimiento. Tomado de Repositorio Institucional UPS. (Áviles & Rodríguez, 2017)

2.6.15.4.3. Transformador convencional con frente muerto.

Su funcionamiento es semejante a los transformadores convencionales excepto por la conexión de medio voltaje que es conectada por conectores elastoméricos. (Áviles & Rodríguez, 2017)

Figura 16

Transformador convencional con frente muerto.



Nota. El gráfico muestra un transformador convencional con frente muerto caracterizado por no tener elementos de medio voltaje expuestos, disminuyendo así posibles riesgos. Tomado de Repositorio Institucional UPS. (Áviles & Rodríguez, 2017)

2.2.16. Herramientas computacionales

2.2.16.1. Microsoft Excel.

Excel es una herramienta eficaz muy utilizada en el ámbito financiero, fue creada por Microsoft para realiza cálculos matemáticos, tablas, gráficas, entre otros, además cuenta con un lenguaje de programación macro denominado Visual Básic, esta hoja de cálculo se usa en la ingeniería para ordenar, calcular, modelar, graficar, etc., un sinnúmero de datos de forma rápida sin complicaciones.

2.2.16.2. AUTOCAD.

Este software asistido por computador se usa en el área de la arquitectura e ingeniería para realizar diseños arquitectónicos, planos eléctricos, modelamientos 2D y 3D, la empresa Autodesk cuenta con diferentes softwares compatibles con otros programas entre ellos CIMDYST, por lo que es muy útil para el desarrollo del presente proyecto.

2.6.16.3. CYMDiST.

Este software se utiliza para el modelado, análisis y planificación de redes de distribución y subtransmisión con el fin de mejorar su desempeño, detallando todas las partes de dichos sistemas. Esta herramienta integral proporciona el flujo de carga, análisis de fallas, distribución, estimación de carga, balance de carga, dimensionamiento, ubicación óptima de condensadores, evaluación de perturbaciones en la red, entre otros.

2.6.16.4. ULYSSE.

Este software está diseñado para el modelamiento de iluminación y sus aplicaciones, además de brindarnos la opción de configurar las luminarias para un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, es totalmente amigable con el usuario proporcionando gráficas y valores calculados de forma rápida.

2.3. Fundamentación teórica

- **Regulación ARCONEL N° 006/18:** Normativa técnica que controla la calidad y eficiencia de alumbrado público.
- **Regulación CONELEC N° 008/11:** Normativa que estandariza los parámetros técnicos en las empresas eléctricos.
- **NTE INEN-IEC 62560:** Normativa para servicios de iluminación general con voltaje superior a 50V.

- **Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 (1R) “Alumbrado Público”:**
Normativa para el cumplimiento de exigencias en equipos y elementos de alumbrado público general.
- **Normativa MEER:** El Ministerio de Electricidad y Energía renovable da a conocer la homologación de Unidades de Propiedad (UP) y Unidades de Construcción (UC) para redes de distribución de energía eléctrica, esta normativa sirve para codificar o categorizar con el fin de mantener un orden de los componentes a utilizar con su respectivas características y gráficos.

En cuanto a Redes Subterráneas el documento cuenta con seis secciones, marco teórico, construcción, especificaciones técnicas, manual UP, codificación y simbología que se encuentran distribuidas respectivamente.
- **Unidad de propiedad, capítulo 2:** Manual de construcción de redes subterráneas.

2.4. Fundamentación conceptual

- **APG:** Alumbrado Público General.
- **ARCONEL:** Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
- **ELEPCO S.A.:** Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi Sociedad Anónima.
- **GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado.
- **LOSPEE:** Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica
- **LED:** Diodo emisor de luz.
- **TTIK:** Tiempo total de interrupción por kilovatio nominal instalado.
- **FMIK:** Frecuencia media de interrupción por kilovatio nominal instalado.

- **MV:** Medio Voltaje.
- **BV:** Bajo Voltaje.

2.5. Hipótesis

¿El diseño técnico de un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable permitirá el uso eficiente de la energía eléctrica en el centro del cantón Saquisilí?

2.6. Variables de investigación

2.6.1. Variable dependiente

Diseñar un sistema soterrado de MV, BV y alumbrado público con telegestión e iluminación led dimerizable.

2.6.2. Variable independiente

Usar eficientemente la energía eléctrica en el centro del cantón Saquisilí.

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Modalidad de la investigación

La modalidad de investigación utilizada para el presente trabajo se basa en la elaboración de proyectos mediante la recopilación de información y método inductivo, este último servirá para determinar el estado del sistema actual, posterior a esto se realizará el diseño con su respectiva simulación. Por otro lado, el sistema de alumbrado y telegestión requiere de un estudio de tipo cuantitativo bajo el criterio de recolección de información y cualitativo para determinar las variables de eficiencia energética.

3.2. Tipos de investigación

3.2.1. Investigación exploratoria

Este tipo de investigación estudia el problema enfocando directamente al sistema de distribución actual de energía eléctrica del cantón Saquisilí, esto sirve para el desarrollo del proyecto obteniendo datos cualitativos o cuantitativos.

3.2.2. Investigación descriptiva

Es necesario realizar previamente una investigación exploratoria, en base a esto se efectúa la investigación descriptiva que puntualiza el proceso del proyecto, en este caso se puntualizará el área a trabajar, no se centra en la razón si no en que es necesario hacer para tener un servicio de calidad para el cantón.

3.2.3. Investigación de campo

La investigación de campo que se realiza en el proyecto es a través del levantamiento del sistema eléctrico y alumbrado público del centro histórico del cantón Saquisilí, realizando estrictamente un trabajo de campo para obtener datos específicos que ayuden al desarrollo del mismo.

3.2.4. Investigación bibliográfica

La información bibliográfica se enfoca en buscar datos que posteriormente serán organizados y valorados de forma selectiva mediante fuentes de bases digitales de ResearchGate, IEEE, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJSR), Revista Vínculos e informes de Entidades como ARCONEL, GADMIC, ELEPCO, MEER.

3.3. Técnicas de recopilación de datos

Se realiza el levantamiento del sistema eléctrico y alumbrado público actual para evaluar el aprovechamiento energético y la tecnología usada cuando la red fue construida. El software Cymdist permite simular el diseño actual en bajo y medio voltaje obteniendo pérdidas, caídas de voltaje, y demás características que ayuden a cumplir con la normativa MERNNR. Por otro lado, se usa Ulysse para realizar la configuración de luminarias, este software proporciona la calidad de luminancia del sistema actual.

3.4. Sistema actual

3.4.1. Delimitación del área de estudio

El cantón Saquisilí perteneciente a la provincia de Cotopaxi cuenta con una superficie de 208km^2 , de los cuales se ha considerado como área de estudio el centro histórico o cabecera cantonal como se muestra en la figura 17, esta zona se encuentra delimitada al norte por la calle Manuel J. Calle, al Sur por la calle Pichincha, al este por la calle Abdón Calderón y al oeste por la calle Gonzales Suárez.

Figura 17

Área de estudio



Nota. Mapa geográfico del área de estudio. Tomada de (Earth, 2021)

3.4.2. Subestación

La subestación Mulaló entra en operación en el año 1991, este centro de distribución se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi al norte de Latacunga. El nivel de voltaje de las líneas del sistema de transmisión es de 138KV por ende la subestación tiene un nivel de voltaje de 138/69/13.8KV.

Tabla 2

Subestación Mulaló.

SUBESTACIÓN			
Nombre	Código	Voltaje	Potencia Instalada
Mulaló	04SA	138/69/13.8KV	66,7MVA

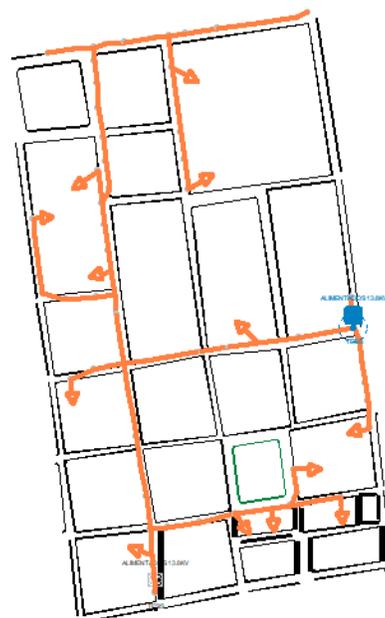
Nota. La tabla 2 muestra las características más importantes de la subestación Mulaló. Tomado de (ELEPCO, Geoportal web, 2021)

3.4.3. Circuito medio voltaje

El área de estudio se encuentra energizada por medio del alimentador Saquisilí – Guaytacama con conductores Sparrow 2AWG ACSR (Conductor de aluminio reforzado con acero) con una longitud de aproximada de 1 135,54 metros.

Figura 18

Circuito de medio voltaje



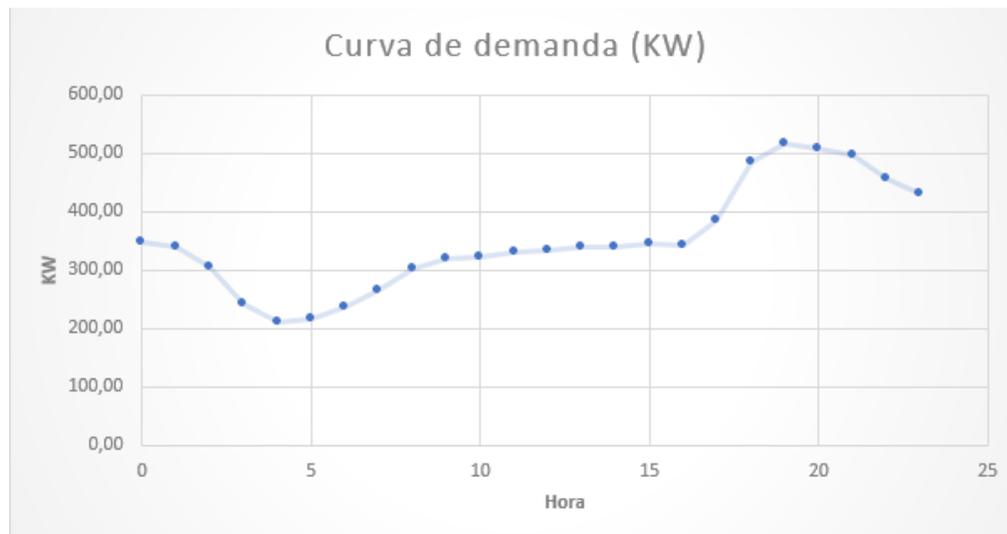
Nota. Circuito de medio voltaje del área de estudio simulado en el software CYMDIST.

3.4.4. Demanda actual

En la actualidad el alimentador que brinda suministro de energía eléctrica al centro del cantón Saquisilí es el 0604ML0T02 (Saquisilí – Guaytacama), presentando 516,1 KW como demanda máxima a las 19:00.

Figura 19

Curva de demanda del área de estudio.



Nota. La figura 19 representa la curva de demanda del área de estudio en los fines de semana entre el mes de enero y febrero en donde se celebra las festividades del lugar.

3.4.5. Transformadores de distribución

Dentro de la cabecera cantonal de Saquisilí se encuentran instalados 13 transformadores de distintas potencias como se detalla en la tabla 4.

Tabla 3

Transformadores de distribución.

Número	Código	Capacidad
1	1291	112 KVA
2	9705	50 KVA
3	8871	30 KVA
4	9145	45 KVA
5	6246	15 KVA
6	1633	100 KVA
7	11596	15 KVA
8	2694	100 KVA
9	9123	45 KVA

Número	Código	Capacidad
10	10324	75 KVA
11	1612	45 KVA
12	12677	15 KVA
13	8578	25 KVA

Nota. La tabla 4 muestra el número de transformadores con el código y capacidad de cada uno de ellos. Tomado de (ELEPCO, Geoportal web, 2021)

3.4.6. Sistema de alumbrado público actual

El centro del cantón Saquisilí cuenta con 168 luminarias de vapor de Sodio con potencias de 250W y 400W ubicadas estratégicamente, para seleccionar la muestra se toma en cuenta las medidas de las calles teniendo en consideración que estas son de similares características, donde se obtiene un valor promedio de 9,25 para la vía más amplia (9 de Octubre) y 6,23 para la vía más angosta (24 de Mayo), es por ello que se eligen las cuadras 4 y 5 y las cuadras 3 y 4 respectivamente como se muestra en la Tabla 4, además estas calles son las más transitadas.

Tabla 4

Medidas que corresponden a las calles del área de estudio.

Nombre	Medición de calles		
	Cuadras	Calzada (m)	Acera (m)
Simón Bolívar	1	9,6	2,46-2,47
	2	6,3	1,15-3,80
	3	6,3	0,80-1,70
	4	9,4	1,80-1,58
24 de Mayo	1	6	1,21-1,30
	2	6,3	1,94-3,92
	3	6,1	1,25-1,17
	4	6,1	2,00-1,60
	5	9,4	1,46-1,47

Medición de calles			
Nombre	Cuadras	Calzada (m)	Acera (m)
9 de Octubre	1	5,5	1,31-1,75
	2	6,3	1,16-1,15
	3	5,5	1,23-1,90
	4	9,4	1,56-1,46
	5	9,4	1,65-1,47
	6	9,4	1,49-0,00
Gonzales Suarez	1	6,3	1,90-0,00
	2	6,4	2,10-1,56
	3	6	2,20-1,90
	4	8,4	0,00-2,10
	5	14,4	2,00-1,90
Abdón Calderón	1	8,3	1,80-0,00
	2	10,4	0,00-0,88
	3	8,4	1,54-0,86
Pichincha	1	8,2	1,78-1,80
	2	4,9	4,81-4,80
	3	4,9	4,80-4,82
	4	8,2	1,80-1,60
Luis F. Borja	1	6,1	0,93-1,20
Barreno	1	7,1	1,16-1,40
	2	7,2	1,20-0,00
	3	8,3	2,00-1,80
	4	7,1	0,80-1,20
Mariscal Sucre	1	7,1	1,18-1,81
	2	7,1	1,20-1,15
	3	8,2	1,97-2,00
	4	6,5	1,98-1,81
Bartolomé de las casas	1	8,6	1,80-0,90
	2	8,5	1,60-1,10
	3	8,6	2,40-1,60
	4	8,5	1,20-0,92
Carchi	1	8,3	1,78-1,80
	2	9,4	1,75-0,00
	3	8,4	1,60-1,75
Oriente	1	6,2	0,40-0,45
	2	6,1	0,38-0,40
Manabí	1	11,4	0,00-0,5
	2	13,6	1,60-1,68

Medición de calles			
Nombre	Cuadras	Calzada (m)	Acera (m)
Manuel J. Calle	1	9,6	1,5-1,45
	2	14,4	2,17-0,0
	3	9,4	1,43-1,5

Nota. La tabla 3 muestra las mediciones de calzada, acera, parterre de las diferentes cuadras que pertenecen a las calles del área en estudio.

3.4.7. Tipo de vía según la norma CONELEC 008/11

Los parámetros a considerar para determinar el tipo de vía están basados en la norma CONELEC 008/11, para lo cual se realiza un recorrido por las calles de la cabecera cantonal con el objetivo de conocer las características que nos ayuden a desarrollar la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5

Clase de iluminación de la calle 9 de Octubre según CONELEC 008/11.

Calle 9 de Octubre			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Velocidad	Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
Volumen de tráfico	Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición de tráfico	Mezcla : con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	1

Calle 9 de Octubre			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Separación de vías	Mezcla	1	1
	Solamente motorizado	0	
	No	1	
	Sí	0	
Densidad de intersección	Alta	1	0
	Moderada	0	
Vehículos parqueados	Se permite	0,5	0,5
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baja	-1	
	Pobre	0,5	
Guías visuales	Moderado o bueno	0	0,5
		ΣV_p	3
Categoría			M3

Nota. La tabla 5 muestra los parámetros que intervienen para determinar el número de iluminación o categoría de la vía 1 seleccionada. Tomado de (CONELEC, 2006)

Tabla 6

Clase de iluminación de la calle 24 de Mayo según CONELEC 008/11.

Calle 24 de Mayo			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Velocidad	Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
Volumen de tráfico	Elevado	1	1
	Alto	0,5	

Calle 24 de Mayo			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición de tráfico	Mezcla : con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	1
	Mezcla	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	1
	Sí	0	
Densidad de intersección	Alta	1	1
	Moderada	0	
Vehículos parqueados	Se permite	0,5	0,5
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baja	-1	
	Pobre	0,5	
Guías visuales	Moderado o bueno	0	0,5
		ΣV_p	5
	Categoría		M5

Nota. Parámetros que intervienen para determinar el número de iluminación o categoría de la vía

2 seleccionada. Tomado de (CONELEC, 2006)

Según el levantamiento de información referente a las características puntuales de cada vía, donde se considera velocidad, volumen de tráfico, composición de tráfico, entre otros, se determina que las vías tomadas como muestra son de clase de iluminación M3 y M5 respectivamente según las ponderaciones obtenidas en las tablas anteriores.

3.4.8. Parámetros generales con luminaria de sodio

Para determinar los parámetros generales es importante obtener los valores solicitados en el software de simulación Ulysses, mismos que se obtienen por medio de medición en campo en cada una de las vías.

Tabla 7

Parámetros generales para simulación con luminaria de sodio.

Parámetros	Vía 1 (9 de octubre)	Vía 2 (24 de mayo)	Observación
Pared	5 m	5 m	Las casas que se encuentran en la vía son de 2 pisos en su mayoría
Acera	1,5 m	1,5 m	
Retroceso	0,3 m	0,3 m	
Interdistancia	25 m	15 m	
Calzada	9 m (2 carriles)	6 m (1 carril)	
Superficie	R3007	R3007	Tipo de material de la vía (asfalto)
Altura de poste	8 m	6 m	
Inclinación del brazo	5°	5°	
Retranqueo del brazo	0,7 m	0,7 m	
Tipo de luminaria	ARC90_400W.010210.02_1C G	CELSA VENUS 250 W Na 052670_2010-1	
Configuración	Unilateral	Tres Bolillos	

Parámetros	Vía 1 (9 de octubre)	Vía 2 (24 de mayo)	Observación
Altura de Acera	0,2 m	0,2 m	
Clase	CIE140\M3	CIE140\M5	

Nota. Parámetros que intervienen para la simulación en el software Ulysse de la vía 1 y vía 2 con luminaria de sodio.

CAPÍTULO IV

4. Resultados de la investigación

4.1. Introducción

El capítulo a continuación muestra las simulaciones actuales de la red de medio y bajo voltaje de la cabecera cantonal del cantón Saquisilí, una de las simulaciones es realizada en el software Cymdist, en donde se obtiene como resultado el comportamiento de la red actual que servirá como base para el desarrollo de la propuesta, así mismo se realiza la simulación en el software Ulysse obteniendo el estado real del alumbrado público, mediante el cual se verifica si este cumple o no con la normativa respectiva para brindar un servicio de calidad para el usuario.

Después de correr el flujo de medio y bajo voltaje en Cymdist se obtiene el porcentaje de caída de voltaje del circuito para determinar si este cumple con el límite de porcentaje permitido, por otro lado, a través de la modelación de alumbrado público compuesto por lámparas de vapor de sodio se adquiere la cantidad de luminancia del sistema.

4.2. Simulación Flujo de potencia del circuito actual

Consecuente a la modelación del sistema eléctrico se realiza el flujo de carga a mayor estrés eléctrico, es decir con la demanda máxima, para obtener los valores más representativos a ser analizados y son: conducta de los transformadores, pérdidas a mayor estrés eléctrico y perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema.

Tabla 8*Pérdidas del flujo de potencia*

Pérdidas	KW	KVAR	KVA
P. en las líneas	6,61	12,42	13,97
P. de carga del transformador	3,80	15,19	15,65
P. en vacío del transformador.	1,58	0	1,58
P. Totales	11,79	27,60	30,01

Nota. En la tabla 8 se representa las pérdidas técnicas del sistema eléctrico del área de estudio.

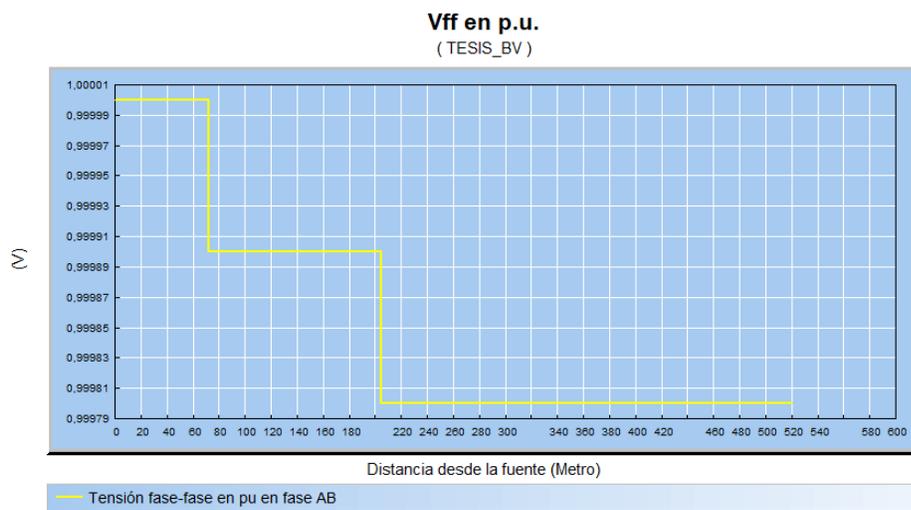
Tabla 9*Cargabilidad de transformadores*

Código	% Carga	Capacidad
1291	103,3	112kva
8871	107,9	30kva
9145	106,7	45kva
11596	111,8	15kva

Nota. La tabla 9 muestra los transformadores que se encuentra actualmente sobrecargados y su potencia.

Figura 20

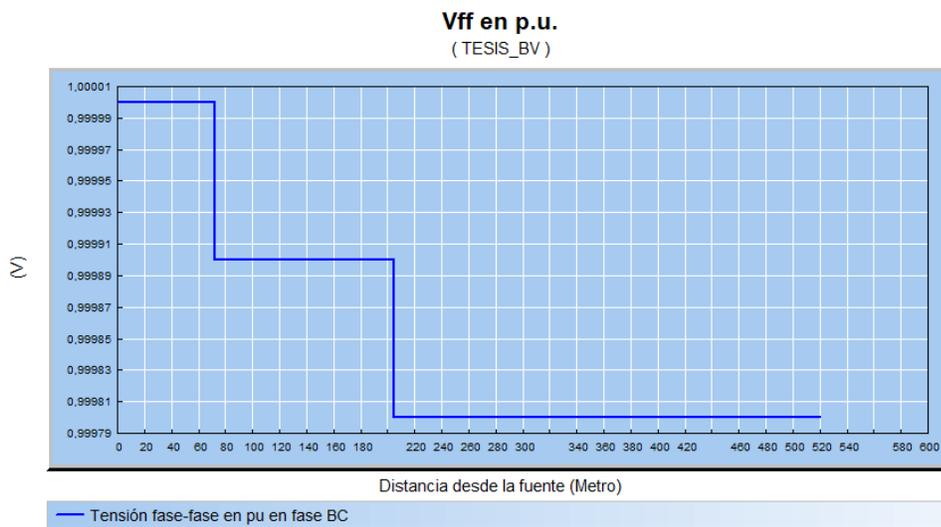
Perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema (V_{ab})



Nota. En la figura 20 se puede evidenciar la caída de voltaje en p.u. entre las fases a-b.

Figura 21

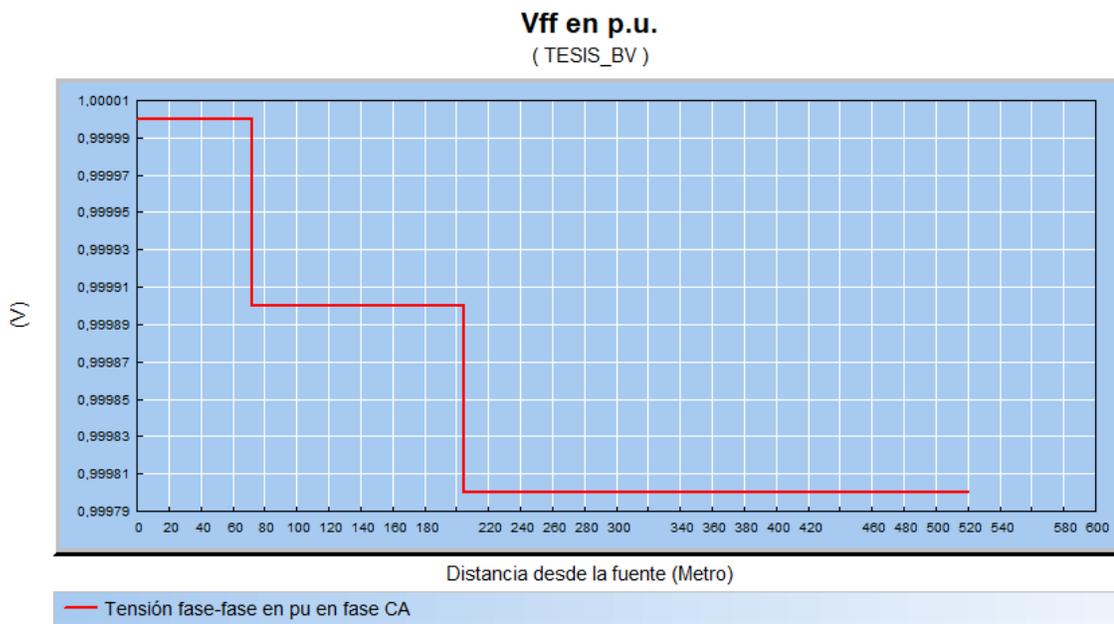
Perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema (V_{bc})



Nota. En la figura 21 se puede evidenciar la caída de voltaje en p.u. entre las fases b-c.

Figura 22

Perfil de voltaje en el nodo más lejano del sistema (Vca)



Nota. En la figura 22 se puede evidenciar la caída de voltaje en p.u. entre las fases c-a.

4.2.1. Cálculo de la demanda proyectada

Se efectuó la proyección de la demanda para aproximadamente 20 años, utilizando el método simple el cual se basa en la tasa de crecimiento histórico.

$$DMU_p = DMU * \left(1 + \frac{Ti}{100}\right)^t$$

Donde:

t : tiempo expresado en años.

Ti : Tasa de crecimiento.

DMU : Demanda máxima unitaria.

DMU_p : Demanda máxima unitaria proyectada.

El departamento de planificación de ELEPCO S.A. fue el encargado de proporcionar los registros históricos de las demandas del alimentador de la subestación Mulaló, dicha información fue necesaria para proyectar la demanda a futuro, cabe recalcar que la estimación de la tasa de crecimiento es del 1,5% considerando que en su mayoría el lugar es una zona residencial donde su posible crecimiento de demanda eléctrica es el cambio de zona residencial a comercial, industrial o posiblemente el incremento de departamentos en las viviendas ya existentes.

Tabla 10

Proyección de la demanda a 20 años.

Año	Dmáx (KW)
2017	626,19
2018	635,58
2019	645,12
2020	654,79
2021	664,61
2022	674,58
2023	684,69
2024	694,67
2025	705,39
2026	715,67
2027	726,71
2028	737,61
2029	748,68

Año	Dmáx (KW)
2030	759,91
2031	771,30
2032	782,87
2033	794,62
2034	806,54
2035	818,64
2036	830,91
2037	843,38
2038	856,03
2039	868,87
2040	881,90

Nota. La tabla 10 muestra las demandas máximas estimadas para una proyección de 20 años.

Analizando la dinámica de crecimiento de la carga es necesario el monitoreo por medio de la ELEPCO S.A. con el objetivo de garantizar el correcto servicio a los usuarios por medio de la propuesta de redes subterráneas.

Tabla 11

Pérdidas a futuro del sistema actual

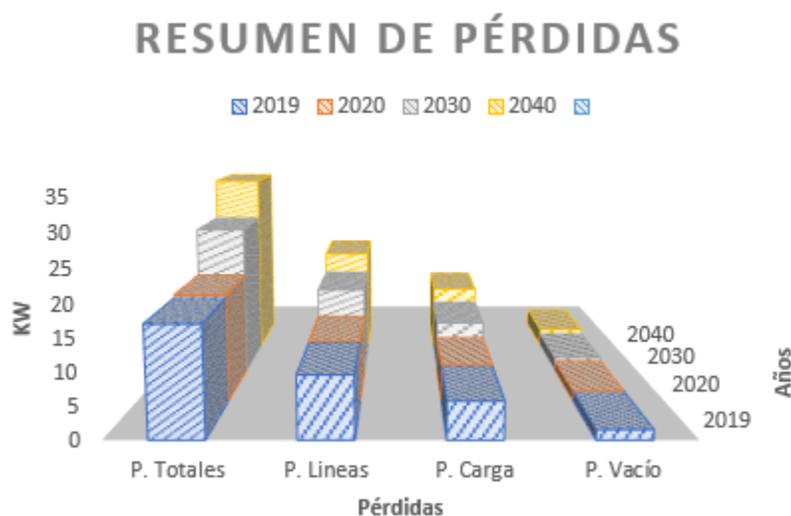
Año	Dmáx (KW)	P. en las líneas (KW)	P. en carga del transformador (KW)	P. en vacío del transformador (KW)	P. Totales (KW)
2019	645,12	9,64	5,79	1,58	17,01
2020	654,79	9,91	5,97	1,6	17,48

Año	Dmáx (KW)	P. en las líneas (KW)	P. en carga del transformador (KW)	P. en vacío del transformador (KW)	P. Totales (KW)
2030	759,91	14,71	8,66	2,2	25,57
2040	881,90	18,43	11,32	3,06	32,81

Nota. La tabla 11 muestra las pérdidas a futuro con el sistema eléctrico actual.

Figura 23

Resumen de pérdidas del sistema eléctrico actual.



Nota. En la figura 23 se evidencia las pérdidas en los años futuros.

4.2.2. Circuito bajo voltaje

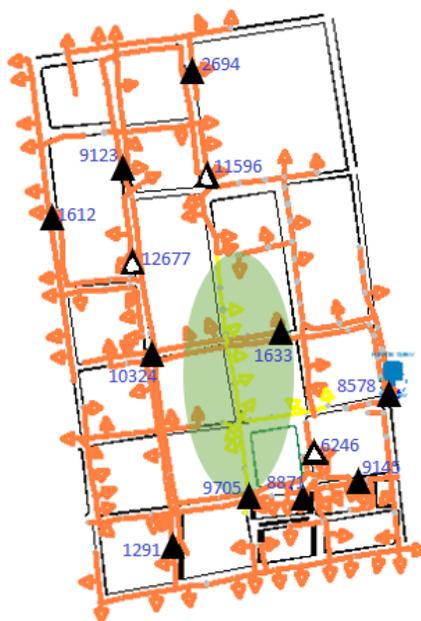
En los circuitos secundarios los conductores utilizados en el área de estudio son 2/0 AWG para las fases y 1/0 AWG para el neutro con una longitud aproximada de 2 865,29 metros.

Gracias a la información proporcionada por el área de informática de la ELEPCO S.A., (Anexo Q) se examinó y valoró los circuitos secundarios del área de estudio.

Para entender el comportamiento actual que tienen los circuitos secundarios del área de estudio se realizó la simulación donde se puede evidenciar los lugares donde existen caídas de voltaje.

Figura 24

Circuito de bajo voltaje



Nota. Circuito de bajo voltaje simulado en el software CYMDIST.

Figura 25

Valoración de colores de acuerdo al nivel de voltaje

Mayor que (%)	Menor o igual a (%)	Color
0,00	85,00	■
85,00	90,00	■
90,00	95,00	■
95,00	105,00	■
105,00	999999,00	■

Nota. La figura 25 nos muestra los niveles de voltaje en el circuito de acuerdo al porcentaje del voltaje nominal.

La mayoría de la zona de estudio presenta una regulación de voltaje dentro de la normativa vigente, mientras que en la zona central del área de estudio se evidencia claramente una caída de voltaje superior al 5% del voltaje nominal, esto incumple la normativa vigente.

Esto se debe a que el análisis se lo efectúa centrándose en fechas festivas del cantón Saquisilí, el área central es lugar de varias celebraciones que demandan de energía eléctrica.

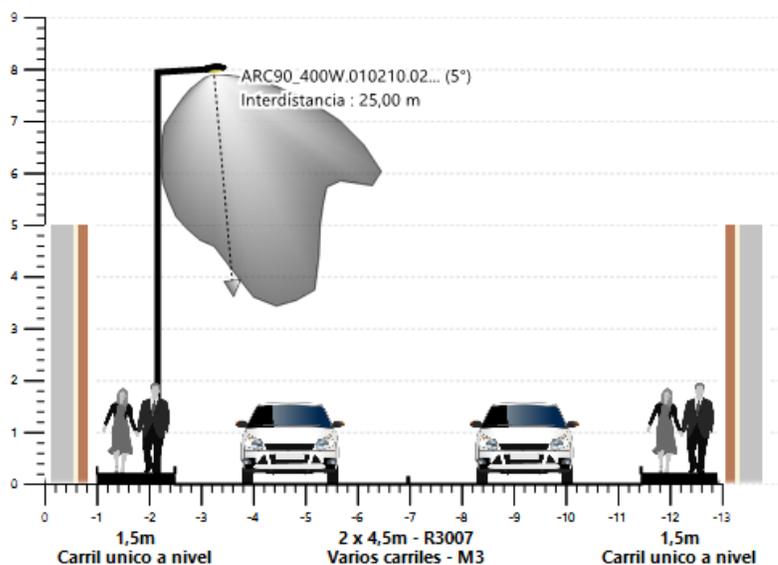
4.3. Simulación actual de las vías tomadas como muestra.

4.3.1. Simulación de la Vía 1 (9 de Octubre).

Al ingresar los datos en el software, la simulación actual con luminaria de sodio en la vía 9 de octubre se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Simulación de la calle 9 de Octubre.



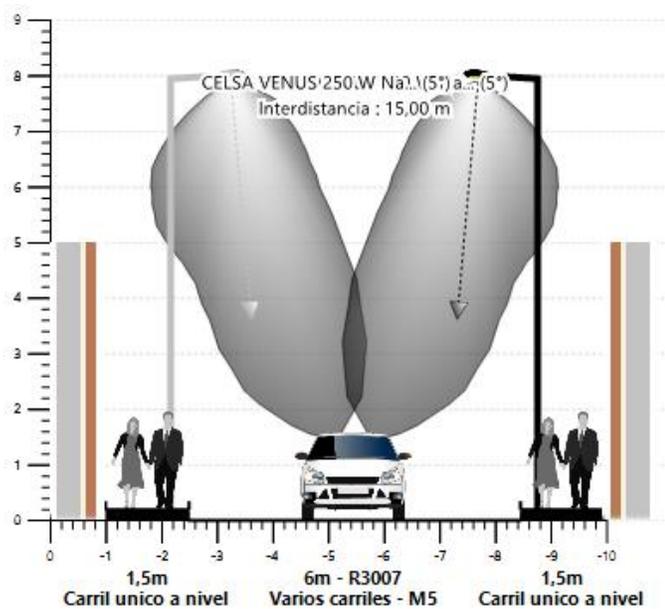
Nota. La figura 26 muestra el modelamiento de la vía 1 después de colocar los parámetros respectivos.

4.3.2. Simulación de la Vía 2 (24 de mayo).

Al ingresar los datos en el software, la simulación actual con luminaria de sodio en la vía 24 de mayo se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Simulación de la calle 24 de Mayo.



Nota. La figura 27 muestra el modelamiento de la vía 2 después de colocar los parámetros respectivos.

4.7.4. Resultados de la simulación actual de la vía 1 y la vía 2.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12*Resultados de la simulación de la vía 1 y vía 2.*

CALLES PRINCIPALES DE SAQUISILÍ		
Parámetros	Vía 1 (9 de Octubre)	Vía 2 (24 de Mayo)
Tipo de vía	M3	M5
Luminancia (cd/m ²) Observador 1	0,11 cd/m ²	9,23cd/m ²
Luminancia (cd/m ²) Observador 2	0,1 cd/m ²	-
Uo Observador 1	40%	77%
Uo Observador 2	40%	-
UL Observador 1	68%	81%
UL Observador 2	69%	-
Ti %	4,9%	12,2%
SR	0,6	1,1
Resultado	No cumple	Cumple

Fuente: Ulysse.

Tabla 13

Parámetros fotométricos para las diferentes clases de iluminación.

Clase de Iluminación	Tipo de superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Lav(cd/m ²) Mínimo	Seco		Mojado		
		Uo % Mínimo	UL% Mínimo	Uo % Mínimo		
M1	2	40	70	15	Ti % Máximo 10	SR Mínimo 0,5
M2	1,5	40	70	15	10	0,5
M3	1	40	60	15	15	0,5
M4	0,75	40	60	15	15	0,5
M5	0,5	35	40	15	15	0,5
M6	0,3	35	40	15	20	0,5

Nota. En la tabla se muestra los parámetros fotométricos para seis clases de iluminación.

(CONELEC, 2006)

Según la regulación CONELEC 008/11, los valores establecidos por la clase de iluminación es mayor a 1 cd/m² para vías M3 y de 0.5 cd/m² para vías M5, al comparar los resultados obtenidos en la simulación de las vías 1 y 2, se obtiene 0,11 y 0,1 para el observador 1 y observador 2 respectivamente en la vía 1 que es de tipo M3 por lo que NO CUMPLE con Luminancia promedio de la calzada (Lav), a su vez en la vía 2 de tipo M5 se obtienen los parámetros acorde a la normativa por lo que SI CUMPLE con LAV, afirmando que esta vía se encuentra con una calidad de iluminación relativamente buena puesto que es una de las más importantes del cantón.

CAPÍTULO V

5. Propuesta

Dentro de este capítulo se efectúa un segundo análisis en el cual se aplica la red subterránea propuesta teniendo en cuenta varios criterios técnicos como: ubicación de transformadores, alumbrado público con tecnología led dimerizable y telegestión, tramos óptimos, entre otros. Por medio del software Cymdist y el software Ulysse, viéndose reflejado en la disminución de pérdidas, transformadores trabajando debajo de su capacidad nominal y voltajes dentro del rango de la normativa vigente, además de se obtiene el diseño de alumbrado público de las vías 1 (9 de Octubre) y vía 2 (24 de Mayo) con tecnología LED dimerizable cumpliendo con la normativa CONELEC 008/11, en base a este diseño se elige el sistema de telegestión Owlet Nightshift, mismo que se determina mediante el análisis de los sistemas de control que ofrece la marca Schéreder.

Posterior a lo establecido se efectúa un análisis económico de los sistemas propuestos en el centro del cantón Saquisilí.

5.1. Datos Informativos

Sector: Centro histórico del cantón Saquisilí.

Ubicación: Centro del cantón Saquisilí en la provincia de Cotopaxi.

Beneficiarios: Ciudadanos que viven dentro del área de estudio.

5.2 Objetivos

5.2.1. Objetivo General

Diseñar las redes eléctricas subterráneas y el sistema de alumbrado público con telegestión y led dimerizable del centro histórico del cantón Saquisilí ubicado en la provincia de Cotopaxi empleando la normativa vigente.

5.2.2. Objetivos específicos

- Establecer la topología adecuada para el circuito propuesto.
- Seleccionar los tipos de conductores para las redes eléctricas subterráneas.
- Elegir los transformadores para la red eléctrica subterránea propuesta.
- Comparar las pérdidas técnicas del circuito actual frente al circuito propuesto.
- Analizar el ahorro energético del sistema de iluminación con tecnología LED dimerizable.
- Determinar el sistema de telegestión adecuado para cumplir una eficiencia energética en la cabecera central del cantón Saquisilí.

5.3. Diseño de la red subterránea

La red propuesta debe cumplir con las normativas vigentes para garantizar un correcto servicio; involucrando correctos niveles de voltaje, reducción de pérdidas técnicas y no técnicas de energía, alumbrado público, etc.

En primera instancia se propone la adecuada iluminación de las calles del área de estudio, consiguiente a eso la topología de la red teniendo en cuenta la ubicación de los transformadores de distribución que deben satisfacer la demanda de los usuarios, así como del sistema de alumbrado público.

5.3.1. Red de medio voltaje

A partir del análisis del circuito actual de medio voltaje se determina que la proyección del circuito no presenta mayor afectación, es así que pretende mantener la misma topología de la red actual, llevándola a un sistema soterrado.

5.3.1.1. Selección del conductor de medio voltaje.

Para la selección del conductor del circuito de medio voltaje, se consideró el análisis del sistema actual proyectado a 20 años y dado que el circuito de medio voltaje no presenta ninguna afectación, así que el calibre del conductor será el mismo añadiendo recubrimiento con características para soterramiento.

Gracias a las simulaciones de flujo de carga en el software CYMDIST se determina que el conductor óptimo para la red de medio voltaje es el XLPE Cu 15 KV calibre 2 AWG, con esto se garantiza la calidad del servicio eléctrico.

5.3.1.2. Transformadores de distribución proyectados.

Dado que el circuito de medio voltaje mantiene su topología, los transformadores de distribución proyectados se localizan en los mismos puntos actuales, pues su ubicación actual abastece toda el área del centro histórico de Saquisilí.

En el sistema actual se puede evidenciar que existen transformadores de poca capacidad con el objetivo de cumplir los mínimos niveles de calidad de servicio, lo que provoca sobrecargas en varios de los transformadores y a la vez caídas de voltaje.

Por lo previamente expuesto, se plantea utilizar transformadores de tipo Padmounted en los lugares determinados como puntos de transformación.

A partir de la siguiente ecuación se realiza el dimensionamiento de los transformadores de distribución.

$$DD = \frac{D_{mx} + 3,5\% * D_{mx}}{FP}$$

Donde:

DD: Demanda de diseño en bornes secundarios del transformador (KVA)

D_{mx}: Demanda máxima coincidente (KW)

FP: Factor de potencia

El valor correspondiente al 3,5% de la demanda máxima coincidente generaliza las demandas de cargas especiales y alumbrado público.

Tabla 14

Detalle de los transformadores proyectados

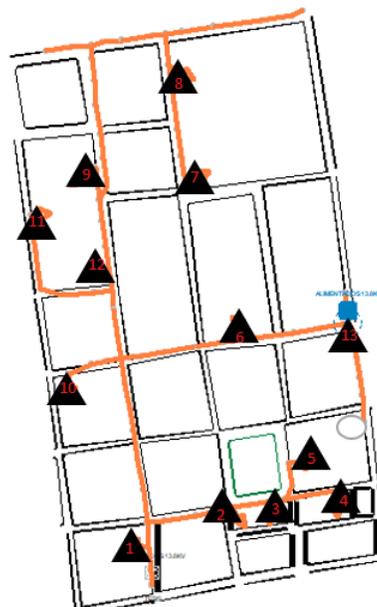
Número del transformador	Código de unidad de propiedad	Potencia del transformador (KVA)	Ubicación del transformador
1	TRT-3P112,5	112,5	Calle 9 de Octubre y Barrenos
2	TRT-3P75	75	Calle 24 de Mayo y Barrenos
3	TRT-3P45	45	Calle Barrenos entre 24 de Mayo y Bolívar
4	TRT-3P150	150	Calle Barrenos y Abdón Calderón
5	TRT-3P200	200	Calle Bolívar entre Barrenos y Mariscal Sucre
6	TRT-3P100	100	Calle Bartolomé de las Casas y Bolívar

Número del transformador	Código de unidad de propiedad	Potencia del transformador (KVA)	Ubicación del transformador
7	TRT-3P112,5	112,5	Calle 24 de Mayo y Manabí
8	TRT-3P100	100	Calle 24 de Mayo y Moreno
9	TRT-3P45	45	Calle Manabí y 9 de Octubre
10	TRT-3P75	75	Calle Bartolomé de la Casas entre Gonzales Suárez y 9 de Octubre
11	TRT-3P45	45	Calle González Suarez entre Manabí y Oriente.
12	TRT-3P112,5	112,5	Calle 9 de Octubre y Oriente
13	TRT-3P100	100	Calle Mariscal Sucre y Abdón Calderón

Nota. En la tabla se detalla el código de unidad de propiedad, la potencia y la ubicación de cada transformador proyectado.

Figura 28

Circuito de medio voltaje proyectado



Nota. EN la figura se presenta el circuito de medio voltaje proyectado con sus respectivos transformadores.

5.3.2. Red de bajo voltaje

La red de bajo voltaje proyectada presenta topología radial, abarcando ordenadamente las manzanas que componen el área de estudio, por medio de esto se reduce las caídas de voltaje y con ello también se reduce las pérdidas técnicas de potencia.

5.3.2.1. Selección del conductor de bajo voltaje.

Gracias a la simulación realizada en el software CYMDIST se determina que la corriente más significativa que circula por la red de bajo voltaje es de 215 A, a partir de este valor se elige el conductor 3/0 AWG Cu con chaqueta TTU de 600V para las fases mientras que el conductor 1/0 AWG Cu con chaqueta TTU de 600V para el neutro.

Tabla 15

Resumen de pérdidas con el circuito propuesto

Año	Dmáx (KW)	P. en las líneas (KW)	P. en carga del transformador (KW)	P. en vacío del transformador (KW)	P. Totales (KW)
2019	645,12	4,32	2,58	1,58	8,48
2020	654,79	4,45	2,65	1,6	8,7
2030	759,91	5,98	3,57	2,2	11,75
2040	881,90	8,02	4,80	3,06	15,88

Nota. La tabla 15 muestra las pérdidas a futuro con el sistema eléctrico propuesto.

Figura 29

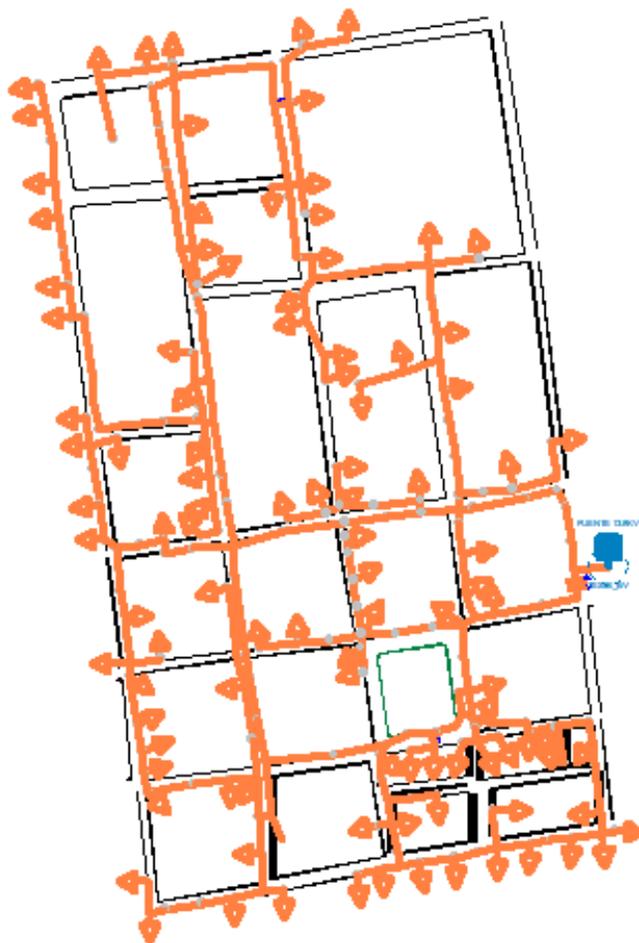
Resumen de pérdidas técnicas con el sistema eléctrico propuesto



Nota. La figura muestra las pérdidas técnicas con el sistema eléctrico propuesta hasta la proyección de 20 años.

Figura 30

Regulación de voltaje



Nota. Como se puede evidenciar en la figura 30, toda el área de estudio presenta una correcta regulación de bajo voltaje dentro del 3%.

Figura 31

Comparación de pérdidas

Pérdidas circuito actual vs circuito propuesto



Nota. La figura 31 muestra la comparación de pérdidas a 20 años con el sistema eléctrico actual y el sistema eléctrico proyectado.

Como se puede evidenciar en la figura 31 las pérdidas técnicas del sistema eléctrico del centro del cantón Saquisilí al llegar al año proyectado se reducen casi al 50%, permitiendo un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica en el lugar.

5.4. Simulación de alumbrado público con tecnología LED dimerizable

El uso de luminaria LED en la actualidad tiene una gran acogida debido al elevado ahorro en el consumo energético, además no necesita de un mantenimiento periódico y consecuentemente se tiene un mayor tiempo de vida útil, justificando de esta manera su costo más elevado frente a una luminaria de sodio de alta presión.

Para la modelación del sistema de alumbrado público con luminaria LED dimerizable en el software ULYSSES, se considera diferentes aspectos que son tomados por medición en campo, como:

- La altura de 5m para la pared derecha e izquierda, debido que las casas situadas en las vías simuladas son de 2 pisos en su mayoría.
- La distancia para la acera es de 1.5m.
- El retroceso que representa la distancia entre el filo de la acera y el poste es de 0,3m.
- La interdistancia o distancia entre postes es de 25m en la vía 1 y 15m en la vía 2.
- El ancho del carril es de 6m en la vía 1 y de 9m para la vía 2.

Además, según la norma RTE INEN 069 se establece:

- La superficie R3007 puesto que corresponde al tipo de material de la vía, siendo para este caso de asfalto.
- La altura del poste de 10m, considerando que la longitud de empotramiento de los postes es igual a:

$$h_e = (0.1 * h_p) + 0.5$$

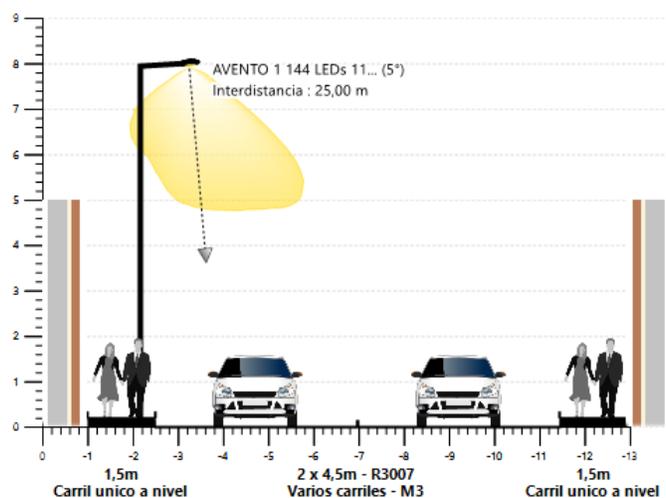
Dando como resultado una altura de poste de 8m para el análisis.

- La inclinación y retranqueo del brazo de luminaria se establece en el rango de 0° a 20° y 0,5m a 1,5m respectivamente por lo que se estima 5° y 0,7m.

Con las consideraciones expresadas anteriormente, el modelamiento de las vías se muestra a continuación:

Figura 32

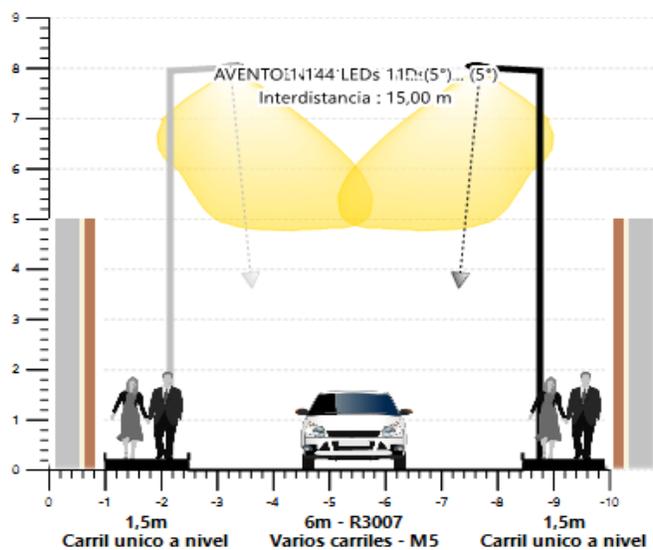
Simulación propuesta de la calle 9 de Octubre.



Nota. La figura 32 muestra la simulación propuesta de la vía 1 en Ulysse, utilizando luminarias AVENTO de 108 W.

Figura 33

Simulación propuesta de la calle 24 de Mayo.



Nota. La figura 33 muestra la simulación propuesta de la vía 2 en Ulysse, utilizando luminarias AVENTO de 108 W.

Como se visualiza en la Figura 32 y Figura 33, el software permite apreciar de manera gráfica el resultado del comportamiento de iluminación de cada tipo de luminaria en base a los parámetros ingresados, estas gráficas aportan al usuario una visualización cercana a la realidad.

Tabla 16

Resultados de la simulación propuesta de la vía 1 y de la vía 2.

CALLES PRINCIPALES DE SAQUISILÍ		
Parámetros	Vía 1 (9 de Octubre)	Vía 2 (24 de Mayo)
Tipo de vía	M3	M5
Luminancia (cd/m ²) Observador 1	1,21 cd/m ²	1,91cd/m ²
Luminancia (cd/m ²) Observador 2	1,11 cd/m ²	-
Uo Mínimo Observador 1	60%	72%
Uo Mínimo Observador 2	63%	-
UL Mínimo Observador 1	83%	82%
UL Mínimo Observador 2	85%	-
Ti %	7,9%	9,5%
SR	0,5	1
Resultado	Cumple	Cumple

Nota. La tabla 16 muestra los parámetros fotométricos que se obtiene en el software al realizar la simulación propuesta de la vía 1 y la vía 2.

Para que las simulaciones realizadas en las vías sean correctas, estas deben cumplir con los parámetros indicados en la norma CONELEC 008/001, es por ello que en los resultados obtenidos se tienen valores superiores a los datos mínimos de; Luminancia promedio de la calzada (L_{av}), uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o), uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L) y relación de alrededores (SR), también se tiene valores menores al valor máximo de deslumbramiento (T_i).

Finalmente, los resultados obtenidos para el observador 1 y observador 2 de la vía 1 de tipo M3, determina que CUMPLE con lo establecido, además para el observador 1 de la vía 2 de tipo M5 de igual manera se determina que CUMPLE.

5.5. Análisis del consumo energético con tecnología LED dimerizable

La iluminación LED dimerizable es directamente proporcional al consumo energético, logrando un ahorro de energía del 30% para la vía 1 y del 50% para la vía 2, por lo que se establece que el ahorro energético sea considerable en relación a la iluminación por lámparas de sodio, además se debe tomar en cuenta que la lámpara Led únicamente debe ser dimerizada hasta el 50% de su capacidad de potencia, para los casos en estudio y cumpliendo los valores expuestos mediante normativa se procede a dimerizar al 70% la vía 9 de octubre y al 50% la vía 24 de mayo.

Al realizar la simulación de iluminación donde se considera los parámetros de dimerización en las vías tomadas como muestra, se aplica el análisis para el resto del área de estudio y se obtiene un ahorro de consumo energético del 30.2% con tecnología Led dimerizable frente a un ahorro nulo en la actualidad con lámparas de Sodio.

5.6. Selección del sistema de telegestión

Para el sistema de telegestión se considera los sistemas de control de la luminaria AVENTO de la marca Schreder, esta marca ofrece tres tipos de sistemas de control como se muestra en la Tabla 17, de los que se obtendrá el más adecuado para la implementación en el área de estudio.

Tabla 17

Selección del sistema de telegestión.

	SISTEMAS DE CONTROL		
	Bluetooth	Schröder EXEDRA	Owlet Nightshift
Ahorro de energía	Adapta niveles de regulación al instante.	Compensa el flujo luminoso y reduce la potencia de luminaria a su nivel real.	Ahorro de energía hasta el 85%.
Mantenimiento	Seguimiento de distintos escenarios de funcionamiento.	Detecta cambios de ubicación después del mantenimiento.	Monitoreo independiente a lo largo de su vida.
Comunicación	Inalámbrica in situ (SIRIUS BLE).	Red pública de comunicaciones móviles (GPS).	Inalámbrica Zigbee.
Almacenamiento de datos	Puede mostrar valores del estado actual o un histórico de funcionamiento.	Obtiene datos de los dispositivos finales para tomar medidas oportunas.	Base de datos MySQL para evaluaciones a largo plazo.
Sustentabilidad	Sustentable	Se preocupa por minimizar el impacto ecológico.	Sustentables gracias su porcentaje de ahorro energético.

SISTEMAS DE CONTROL			
	Bluetooth	Schröder EXEDRA	Owlet Nightshift
Seguridad	Llave electrónica.	Detección de robo de cables.	Seguro almacenamiento de datos y copia de seguridad con el sistema Nightshift.
Prevención de fallas	No es posible prevenir fallas porque se obtiene datos al instante.	Si se produce una perturbación en la comunicación actúa el controlador de luminarias LUCO P7 CM.	No se apaga gracias al programa predeterminado que garantiza iluminación.
Eficiencia	Eficiente al instante	Conectividad instantánea, fiable, estable, flexible.	50 veces más rápido que una comunicación por red de línea eléctrica.
Capacidad de actualización	Solo requiere ser instalada la antena de bluetooth en la luminaria.	Teniendo en cuenta el número de luminarias es o no necesario instalar el controlador de luminaria LUCO P7 CM.	Se incorpora nuevos puntos de iluminación fácilmente gracias a la comunicación inalámbrica ZigBee.
Control de luz individual	Control manual en situ	Controlador LUCO P7 CM	Control en cualquier momento gracias a su comunicación bidireccional.

SISTEMAS DE CONTROL			
	Bluetooth	Schröder EXEDRA	Owlet Nightshift
Reportes	Número total de encendidos, consumo de energía total del driver LED, etc, seguimientos de escenarios de funcionamiento (cortocircuitos, apagados térmicos)	Presenta informes detallados con los datos obtenidos.	Presenta informes a partir de los datos que fueron grabados con hora exacta, sello y ubicación geográfica.
Compatibilidad	Android 5.0 Lollipop y superior	Interfaz de 1-10V o DALI	Lámpara, balastro controlador LED con o sin interfaz de 1-10V o DALI
Alcance	Urbanas - Residenciales	Ciudades Grandes	Zonas Urbanas

Nota: En la tabla se muestra los diferentes tipos de control de iluminación.

Para seleccionar el sistema de tele gestión idóneo en el área en estudio, se realiza la puntuación de cada uno de los sistemas antes mencionados en base a las características que poseen, tomando como consideración la ponderación de 1 si es apto y de 0 si no lo es, como se observa a continuación.

Tabla 18

Selección del sistema de telegestión por puntuación.

	SISTEMAS DE CONTROL		
	Bluetooth	Schröder EXEDRA	Owlet Nightshift
Ahorro de energía	0	1	1
Mantenimiento	0	0	1
Comunicación	0	1	1
Almacenamiento de datos	0	1	1
Sustentabilidad	1	1	1
Seguridad	0	1	1
Prevención de fallas	0	1	1
Eficiencia	0	1	1
Capacidad de actualización	1	1	1
Control de luz individual	0	1	1
Reportes	1	1	1
Compatibilidad	0	1	1
Alcance	1	0	1

Nota: En la tabla se muestra la puntuación para los sistemas de control según el área en estudio.

La tabla 18 consta de 13 características que ayudan analizar la factibilidad de los sistemas, dando como resultado:

- 4 puntos para el sistema de control Bluetooth
- 11 puntos para Schröder EXEDRA
- 13 puntos para el sistema Owlet Nightshift

Siendo la mejor opción el sistema Owlet Nightshift, que posee una puntuación máxima gracias a su 85% en ahorro de energía, además tiene monitoreo independiente y proporciona informes de funcionamiento con hora, sello y ubicación geográfica en base a su almacenamiento de datos seguro para evaluaciones a largo plazo, este sistema es uno de los más rápidos en

cuanto a comunicación puesto que tiene una conectividad inalámbrica bidireccional que es 50 veces más rápido frente a la comunicación por red eléctrica, finalmente la incorporación de nuevos puntos de iluminación es sencilla ya que la lámpara únicamente debe conectarse a la red inalámbrica mediante su módulo de conectividad.

5.7. Arquitectura del sistema de tele gestión Owlet Nightshift

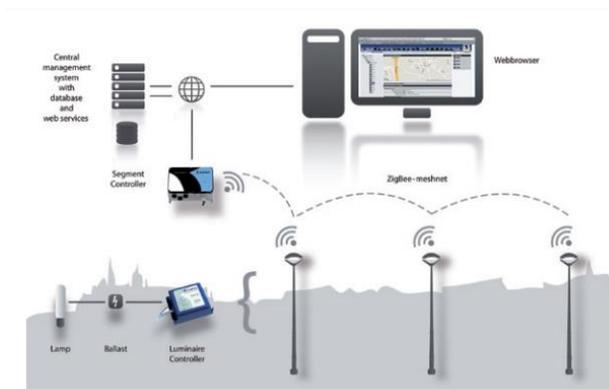
La configuración del sistema de telegestión depende de 2 controladores:

- El controlador SeCo(Segment Controller): es el encargado de recibir las señales de cada luminaria y emitir la información a los servidores.
- El controlador LuCo-P7(Luminaire Controller): es el encargado de monitorear el comportamiento de cada luminaria y emitir información al controlador SeCo.

Estos controladores poseen conectividad bidireccional, es decir tienen conexión por red local (Zigbee) y mediante red WLAN para su comunicación entre sí. Además, mediante la interfaz Web Owlet Nightshift el usuario puede controlar las luminarias desde cualquier punto mediante un ordenador o dispositivo móvil, así también permite el control de dimerización con una configuración por horas, el registro de datos generado por el sistema se almacena en la base de datos MySQL, que permite enviar informes automáticos mediante network ZigBee de forma inalámbrica al ordenador o a un correo electrónico, su rango de comunicación entre controladores de luminarias es de 100 metros, sin sobrepasar dicha distancia entre lámparas, la topología usada para su comunicación es de tipo mallado como se puede observar en la figura 35, utilizando red intergestionable con un tamaño de instalación de 1 a 1000 puntos de iluminación alcanzando la cobertura de todos los dispositivos. La configuración del sistema de telegestión Owlet Nightshift, se muestra en la Figura 34.

Figura 34

Arquitectura telegestion Owlet Nightshift.



Nota. La figura 34 muestra la arquitectura del sistema seleccionado, en la que se puede ver cada uno de los elementos que conforman este sistema.

Figura 35

Topología de comunicación tipo mallaado.



Nota. En la figura 35 se puede observar la localización del controlador SeCo y de qué forma se comunican las distintas luminarias que poseen el controlador LuCo-P7.

5.8. Diseño de la obra civil

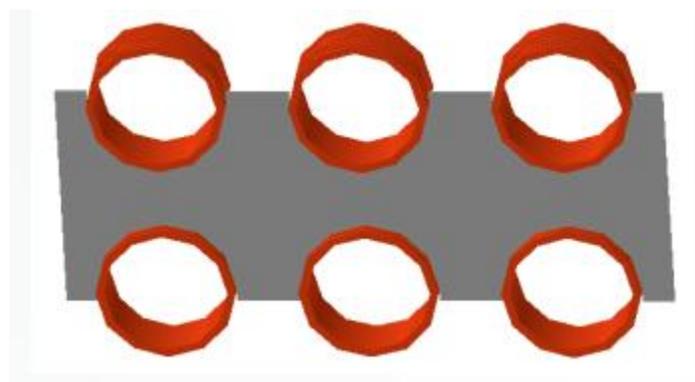
De acuerdo a la sección 2 del sistema de unidades de propiedad correspondiente al manual de construcción del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas los aspectos técnicos que se deben tomar en consideración para la construcción de un sistema eléctrico de medio voltaje y bajo voltaje son banco de ductos, pozos, cámaras eléctricas y bases de hormigón para la instalación de equipos.

5.8.1. Banco de ductos

Para que la distancia entre los ductos sea uniforme se debe utilizar separadores los cuales deben ser necesariamente láminas de PVC, en las cuales deberá existir una distancia mínima vertical y horizontal de 0,05 m, esto es independientemente del diámetro que sea la tubería y el nivel de voltaje, así también la distancia óptima longitudinalmente entre cada separador debe ser de 2,5 m.

Figura 36

Separador de ductos



Nota. Placa separadora de ductos Fuente: Manual de construcción de redes subterráneas.

Tomado de (MERNNR, 2021)

5.8.2. Relleno de zanja de ductos

La mayor trayectoria de ductos es debajo de aceras, con lo cual las especificaciones técnicas nos indica que el relleno puede ser de arena o preferentemente de hormigos de 140 Kg/cm².

Para la primera fila de ductos, es necesario colocar una capa de 0,05 m de arena o ripio para conseguir una cama uniforme, si el relleno es de arena, se debe colocar una cama de 0,05 m sobre el tubo que está debajo y realizar este mismo proceso las veces que sea necesario hasta completar la cantidad de tubos, la última capa debe ser de 0,1 m sobre el último tubo; si el relleno es de hormigón, se debe disponer el banco de ductos y rellenar de hormigón hasta 0,1 m sobre el último tubo.

Para ambos casos se debe colocar encima una capa de 0,2 m material de relleno que no contenga piedras, esta debe ser compactada manualmente, la siguiente capa debe ser de 0,1 m compactada mecánicamente y finalmente se debe colocar una capa de 0,1 m de arena o ripio dependiendo si la acera será de adoquín u hormigón respectivamente.

En las secciones donde el banco de ductos debe pasar por debajo de la calzada, el relleno debe ser de hormigón con una resistencia mínima de 180 Kg/cm² hasta 0,1 m sobre el último ducto, sobre esa capa se debe colocar dos capas de 0,25 m cada una de material de relleno compactado mecánicamente, luego una capa de 0,1 m de arena, ripio o lastre para finalmente culminar con adoquín, hormigón o asfalto dependiendo el caso.

5.8.3. Separación entre banco de ductos

La separación mínima horizontal entre banco de ductos es de 0,25 m.

5.8.4. Profundidad

La profundidad mínima del banco de ductos para zonas transitadas por vehículos es de 0,8 m y para las zonas donde no existe circulación de vehículos es de 0,6 m, dicha distancia debe considerarse con respecto a la parte superior del banco de ductos.

5.8.5. Tipo de ducto

Las normas NTE INEN 2227 y NTE INEN 1869 mencionan que, el ducto para medio voltaje y bajo voltaje debe ser de tubo PVC con pared estructurada y el interior debe ser tipo B de característica lisa, mientras que para alumbrado público el tubo debe ser del mismo material, pero de tipo II pesado,

Los accesorios deben ser diseñados para ser utilizados en las tuberías anteriormente mencionadas.

La sección transversal de los conductores no debe exceder del 40% de la sección transversal interna del ducto.

Tabla 19

Diámetro de ductos a partir del calibre de conductores

Calibre del conductor (AWG o kcmil)	Voltaje (KV)	Diámetro del conducto (mm)
1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250, 300, 350, 500	35	160
2, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250, 300, 350	15 – 25	110
500	15 – 25	160

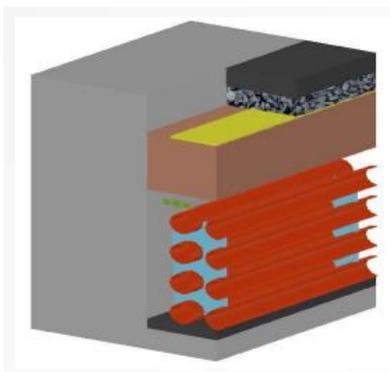
Calibre del conductor (AWG o kcmil)	Voltaje (KV)	Diámetro del conducto (mm)
4, 2, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0	0.6	110
6, 4, 2, 1/0	0,6 (Alumbrado público)	50

Nota. La tabla muestra el diámetro de los ductos a partir del calibre de los conductores. Tomado de (MERNNR, 2021)

Como se puede observar en la tabla los ductos para el circuito de medio voltaje es similar al circuito de bajo voltaje, el diámetro del ducto debe ser de 110 mm.

Figura 37

Banco de ductos



Nota. Estructura de banco de ductos. Tomado de (MERNNR, 2021)

5.8.6. Pozos

Los pozos son utilizados para cambios de red aérea a subterránea, para cambios de dirección de circuitos y a lo largo de tramos rectos.

La separación de pozos en tramos rectos depende del diseño, pero debe estar entre 30 y 60 metros.

Tabla 20

Dimensiones de pozos

TIPOS	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Aplicación
A	0,60	0,60	0,75	AP – ACOMETIDA
B	0,90	0,90	0,90	AP – MV – BV
C	1,20	1,20	1,20	AP – MV – BV
D	1,60	1,20	1,50	AP – MV – BV
E	2,50	2,00	2,00	AP – MV – BV

- Las profundidades indicadas en la tabla son mínimas y podrá aumentar dependiendo de la cantidad de ductos a instalarse.
- Los pozos tipo C serán utilizadas para derivaciones en bajo voltaje.
- Los pozos C y D se construirán con dos tapas que cubran el área del mismo.
- En el pozo tipo E se podrán colocar módulos premoldeables para derivación y seccionamiento. Este tipo de pozo irá con tapa de hierro esferoidal.

Nota. Dimensiones de pozos de acuerdo a la aplicación. Tomado de (MERNNR, 2021)

Para la red de bajo voltaje es oportuno la utilización de pozos de tipo D los cuales necesitan dos tapas que cubran su área.

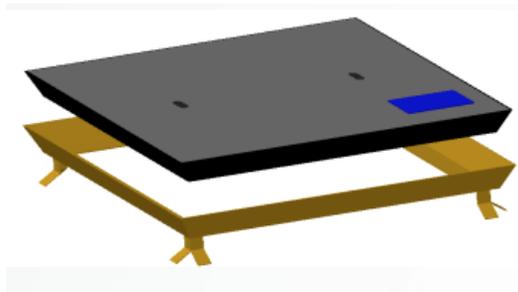
Los pozos a utilizarse en los centros de transformación son los de tipo E, los cuales necesitan tapas de hierro esferoidal.

5.8.7. Tapas

Para los pozos de tipo D las tapas deben ser de hormigón con una resistencia de 210 kg/cm², con marco metálico de acero con un espesor de 4 mm, además debe medir 50 mm, la altura 75 mm y debe poseer una abertura de 110°.

Figura 38

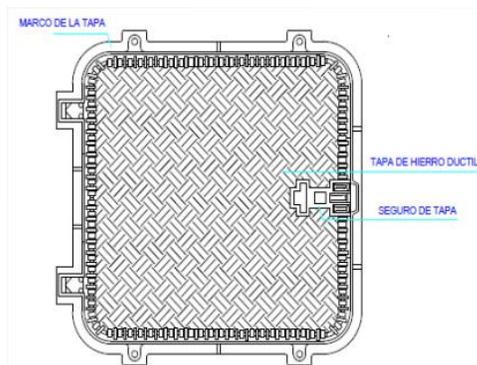
Tapa de hormigón



Nota. Tapa de hormigón con perfil de metal para pozo. Tomado de (MERNNR, 2021)

Las tapas de tipo esferoidal de hierro de clase D400-400 kN, debe tener seguro de cierre de un cuarto de vuelta con su respectiva llave, adicional a esto debe poseer bisagras las cuales faciliten la apertura del pozo.

El diseño de la tapa es con la finalidad de ser antideslizante para vehículos o peatones de acuerdo al lugar donde se encuentre.

Figura 39*Tapa de hierro esferoidal*

Nota. Tapa de hierro esferoidal con bisagras y llave de apertura. Tomado de (MERNNR, 2021)

Las tapas de los pozos deben tener una correcta identificación en las cuales debe constar el nombre de la empresa distribuidora de energía, el o los niveles de voltaje.

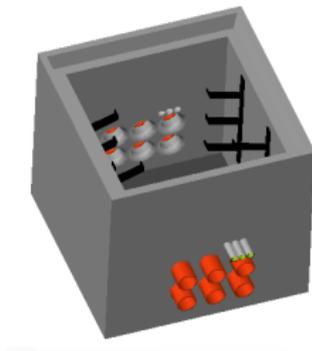
5.8.8. Piso de los pozos

Los pisos de los pozos deben ser de fundición de hormigón con una capa mínima de 0,1 m, también debe poseer un sifón de drenaje el cual deberá estar conectado a la red de alcantarillado.

El tubo de desagüe debe tener un diámetro mínimo de 50 mm y debe ser de PVC y el piso debe tener una inclinación de 1,5% hacia el drenaje.

Figura 40

Cámara subterránea



Nota. Pozo subterráneo con soportes y ductos instalados. Tomado de (MERNNR, 2021)

5.8.9. Soportes

Los soportes dentro de los pozos deben ser de acero galvanizado o de fibra de carbono, estos deben garantizar soportar la masa de los conductores que se apoyan sobre estos y evitar someter los conductores a esfuerzos mecánicos, además de esto deben colocarse mínimo a 0,1 m del suelo para evitar daños en las camisas de los conductores.

Figura 41

Soportes para conductores dentro de ductos



Nota. Soportes para conductores de acero galvanizado. Tomado de (MERNNR, 2021)

5.8.10. Bases para la instalación de equipos

Los equipos de ejemplar pedestal deben instalarse sobre una base de hormigón la cual deberá tener un espesor mínimo de 0,1 m y una resistencia mínima de 210 kg/cm².

Las dimensiones de las bases donde se empotran estos equipos dependen del equipo a instalar.

Figura 42

Transformador padmounted



Nota. Transformador padmounted. Tomado de (Áviles & Rodríguez, 2017)

5.9 Análisis económico

5.9.1. Análisis económico del sistema eléctrico y alumbrado público

En esta sección se muestra el precio referencial del proyecto a partir de la estimación de costos de los materiales y factores que intervienen en la implementación de este proyecto.

El costo de los materiales, obra civil y mano de obra se muestran en el anexo O.

Tabla 21

Detalle del costo de la implementación del circuito propuesto

Descripción	USD (\$)
Materiales	1 372 274,07
Obra civil	2 015 577,38
Mano de obra	74 077,90
Costos Indirectos	865 482,33
Subtotal	4 327 411,68
IVA	519 289,40
Total	4 846 701,08

Nota: En la tabla se muestra el costo de implementación del circuito soterrado con la respectiva descripción de los parámetros que intervienen en el mismo.

5.9.2. Análisis económico del sistema de control Owlet Nightshift

Para el análisis económico del sistema de control Owlet Nightshift se considera el precio de los equipos y de los materiales como se muestra en la tabla 22 y tabla 23.

Tabla 22

Precios de equipos para el sistema de control Owlet Nightshift

N°	Descripción	Precio	Cantidad	Subtotal
1	Controlador de luminaria LuCO P7	\$ 97,00	168	\$ 16.296,00
2	Controlador de segmentos SeCo	\$ 11.550,00	1	\$ 11.550,00
3	Sistema central manager con base de datos y servicios web	\$ 0,00	1	\$ 0,00

N°	Descripción	Precio	Cantidad	Subtotal
4	Software-plataforma Owlet Nightshift	\$ 45.000,00	1	\$ 45.000,00
	Costo total sistema de telegestión Owlet Nightshift			\$ 72.846,00

Nota: En la tabla se muestra el precio de todos los equipos necesarios para la implementación del sistema de control Owlet Nightshift con 168 luminarias. Tomado de (Scheréder, 2021)

Tabla 23

Precio de materiales e instalación del sistema de control Owlet Nightshift.

N°	Descripción	Precio	Cantidad	Subtotal
1	Caja para tablero de control	\$ 500,00	1	\$ 500,00
2	Materiales de instalación	\$ 250,00	1	\$ 250,00
3	Asesoría para implementación, durante 4 meses	\$ 16.700,00	1	\$ 16.700,00
4	Montaje de control de la luminaria	\$ 21,00	168	\$ 3.528,00
5	Montaje tablero principal	\$ 21,00	3	\$ 63,00
	Costo total de material e instalación			\$ 21.041,00

Nota: En la tabla se muestra el precio de materiales e instalación necesarios para la implementación del sistema de control Owlet Nightshift con 168 luminarias. (Scheréder, 2021)

El costo para la implementación del sistema de control Owlet Nightshift con 168 luminarias comprende un total de \$ 93.887,00, es importante considerar que el factor de mantenimiento en un sistema con luminarias led es de 0,8, este factor indica que la luminaria no se va a degradar con el tiempo ni va a perder la calidad de iluminación incrementando así su vida útil, en base a un factor de 1 en el que no se hace mantenimiento, es así que se tiene un importante ahorro económico en cuanto a mantenimiento del sistema con luminarias led.

Es decir que el costo total de la implementación del sistema propuesto se estima en 4'940 588,08 USD.

El valor de inversión para que el proyecto propuesto se lleve a cabo no es económicamente factible, pues su inversión aproxima a 5 millones de dólares, en el anexo P se presenta el cálculo de tiempo de inversión a partir de los ingresos generados teniendo en consideración gastos de operación y mantenimiento, el tiempo estimado de recuperación es aproximadamente 22 años, lo cual no cumple ni siquiera con el tiempo de proyección del proyecto; mientras tanto que el beneficio técnico y social es elevado, ya que las pérdidas técnicas se verían reducidas casi en un 50% y las pérdidas no técnicas las cuales se ven presentes en las festividades del lugar, se verían también reducidas casi en su totalidad, además de esto hay que resaltar el mejoramiento estético del lugar con el alumbrado público propuesto reduciendo la contaminación visual y así a la vez potenciando el turismo en el lugar.

CAPÍTULO VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

El levantamiento de la red de medio voltaje, red de bajo voltaje y alumbrado público del centro histórico del cantón Saquisilí en conjunto con el sistema GeoPortal de la ELEPCO S.A., permitió la actualización de 1 transformador (cod.12677) que eran inexistentes en dicha plataforma.

Gracias a la red subterránea propuesta, en la figura 31 se puede evidenciar que las pérdidas técnicas al año proyectado se reducen alrededor de un 50%, disminuyéndose de 30 KW a 12 KW aproximadamente.

Gracias a la simulación del sistema eléctrico actual realizado en el software CYMDIST se determinó que en fechas ocasionales en el centro histórico del cantón Saquisilí 4 de los transformadores se encuentran sobrecargados.

Se desarrolló la simulación del sistema eléctrico proyectado en el software CYMDIST validando que los circuitos y equipos a implementarse cumplen con los requerimientos de calidad de servicio eléctrico.

El sistema propuesto con luminarias led tiene un ahorro energético del 30,2%, por otro lado, la implementación de telegestión OWLET NIGHTSHIFT en el sistema de iluminación aporta un monitoreo absoluto permitiendo al usuario conocer el comportamiento del mismo, así también permite realizar la dimerización de manera conveniente hasta un máximo de 50% de potencia de la luminaria.

El sistema eléctrico y alumbrado público propuesto no es económicamente factible, pues la ventana de recuperación de la inversión se aproxima a 35 años, sin embargo, existe otra variante de sistema de alumbrado público (LEDEX SOLARIS B4847 120W) la cual cumple con los requerimientos de la normativa INEN-IEC 62560 con un ahorro económico de aproximadamente 55 000 USD, la elección es a libre disposición de la empresa eléctrica.

6.2 Recomendaciones

Es importante tener conocimiento previo sobre el manejo del software CYMDIST, pues su entorno gráfico no es tan amigable con el usuario debido a su gran cantidad de herramientas.

Se recomienda para las calles donde la acera es de poca anchura realizar cámaras subterráneas de transformación, pues el transformador obstaculiza total o parcialmente la acera dificultando el tránsito de los peatones.

Se recomienda realizar una dimerización de luminaria que no sea menor al 50% para obtener una iluminación de calidad.

Es importante tomar en cuenta el tipo de red que se va a utilizar en el sistema de telegestión, el mismo que es de suma importancia ya que de esto depende la cantidad de luminarias que puede abarcar el sistema.

Bibliografía

- Alcaraz, J., & Jiménez, J. (2018). La aplicación de la agricultura de precisión en el proceso de fertilización: un caso de estudio para el sector bananero de Urabá-Anioqueño. Medellín: Universidad EAFIT.
- Almazan, R. C. (2003). Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje . San Luis Potosí.
- Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego . Honduras.
- Appelbaum, J. (2016). Bifacial photovoltaic panels field. *Renewable Energy*, 338-343.
- Arias, M. P. (2012). Diseño de un sistema de riego por aspersión con automatización para el sector de Ugñag, cantón Penipe. En G. A. Patricia, Diseño de un sistema de riego por aspersión con automatización para el sector de Ugñag, cantón Penipe (pág. 40). Riobamba.
- Avedaño, V. M. (2004). Estudio de la factibilidad de la introducción de un sistema de riego por gravedad-aspersión en el caserío Corral de Piedra concepción Tutuapa San Marcos. Guatemala.
- Cevallos, J., & Ramos, J. (2018). Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81:1154-1165.
- Cifuentes., R. L. (2017). Guía de desarrollo de proyectos pequeños y medianos proyectos de Energía Eólica. En R. L. Cifuentes., Guía de desarrollo de proyectos pequeños y medianos proyectos de Energía Eólica. (págs. 11-14). Santiago de Chile: Rodrigo Vieytes.
- Collado, E. (2017). Sistema de Riego Inteligente para optimizar el consumo de agua en cultivos en Panamá. *Global Partnerships for Development and Engineering Education*, 19-21.
- Cox, S. (2002). The global key to precision agriculture and sustainability. *Comput Electron Agric*, 93-111.
- Diciembre Sanahuja, S. (2017). Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mandami y de Takagu-Sugeno-Kang(TSK). Castellón: Universidad Jaume I.
- Earth, G. (2020). Google Earth. Recuperado el 12 de 3 de 2021, de Google Earth: <https://earth.google.com/web/@-0.93490023,-78.60220615,2780.42332586a,214.54272997d,35y,359.22202748h,0t,0r>
- ESPAC. (2019). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2018. Quito: ESPAC.

- FAO. (2018). El trabajo de la FAO sobre el cambio climático (Vol. I). París: FAO.
- FCCyT. (2018). Agricultura de precisión. México: INCyTU.
- Fierro, A. (2019). Diseño e implementación de un sistema de irrigación inteligente en la hacienda Cochicharanqui ubicada en el canton Ibarra. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Electrica y Electrónica, Sangolqui.
- Garcia, E. B. (2013). *Fuentes de energias renovables*. Recuperado el 1 de 03 de 2019, de Monografias.com: <https://www.monografias.com/docs110/fuentes-energias-renovables-ppt/fuentes-energias-renovables-ppt3.shtml>
- Garcia, H. (27 de 9 de 2011). *Slideshare*. Recuperado el 3 de 2 de 2021, de Slideshare: https://es.slideshare.net/hjgg_jacob/clculo-de-prdidias-de-carga-en-tuberas
- Garcia, P. H. (2017). Determinación del método mas eficiente para calcular la evotranspiración potencial para un modelo lluvia-escorrentia en la cuenca Huancané. Puno.
- Gómez, R. F. (2010). Manual de Riego para agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión. Sevilla.
- Hamidat, A., Benyoucef, B., & Hartani, T. (2003). Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions. *Renewable Energy*, 1081-1096.
- Hidrobo, B. &. (2011). Diseño de un sistema de turbobombeo y riego por aspersión en la comunidad de San Francisco de Cunuguachay. Riobamba.
- INEC. (2020). Proyección de la Población Ecuatoriana, por años calendario, según cantones 2010-2020. Quito: INEC.
- Jensen, M. E. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE* 89(LR4). Proceedings of the America Society of Civil Engineers.
- Li, M., & Chung, S. (2015). Special issue on precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 112-117.
- López, K. (Julio de 2015). *Diseño de la estructura física de un AS/RS para fines didácticos*. Recuperado el 6 de Marzo de 2020, de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/12914.pdf?fbclid=IwAR0d4SHC8OGgWIOjJeIWv_GfuZqROfEsU4uQcfq4Rj3oHmzpER31VSFoTWO
- López, V. (2019). Desarrollo y desafíos de proyectos de Generación de Energía Solar Fotovoltaica en Chile. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.

- Mark, J. (2017). *Global list of countries powered 100% by renewable energy, or close to it*.
Obtenido de Green Road Journal: <https://www.agreenroadjournal.com/2016/05/global-list-of-countries-powered-100-by.html>
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo S.A.
- Mott., R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson.
- Nikesh Gondchawar, D. R. (2016). IoT Based Smart Agriculture. JARCCE, Vol 5, Num 6.
- Ola , L., & Salas, J. (21 de 06 de 2020). *Diseño e implementación de un sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de fuente alternativas de energía de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga*. Recuperado el 2 de 1 de 2020, de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2715>
- Parvaresh, A., Ashrafzadeh, A., & Ramezani, A. (2019). A financial comparative study of solar and regular irrigation pumps:. *Renewable Energy*, 1096-1103.
- Pedrollo. (2020). *Pedrollo*. Obtenido de Pedrollo:
https://www.pedrollo.com/public/allegati/CP%200.25-2.2%20kW_ES_60Hz.pdf
- Pereira, L. S. (2010). *El Riego y sus Tecnologías*. Lisboa : Europa-América.
- Plastigama. (22 de 02 de 2021). *Plastigama Wavin*. Obtenido de *Plastigama Wavin*:
<http://plastigama.com/wp-content/uploads/2018/09/Tuberi%CC%81as-y-accesorios-de-PVC-y-PE-BD-uso-agri%CC%81cola.pdf>
- Richard G. Allen, L. S. (s.f.). *Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* . Roma.
- Rodriguez, K., De Moure, F., & Quiñones , J. (2020). *Energía solar fotovoltaica*. CIENCIA, vol 71, número 3, 1-6.
- Romero, J. (2015). *Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Sánchez, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. España.
- Silva, P. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Santiago de Chile.
- Tataglia, A. (2019). *Tecnología fotovoltaica con paneles bifaciales: ¿Vuélve para quedarse?*
Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

- Tsang, M., Sonnemann, G., & Bassani, D. (2016). Life-cycle assessment of cradle-to-grave opportunities and environmental impacts of organic photovoltaic solar panels compared to conventional technologies. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 37-48.
- Vaca, D., & López, J. (2019). *Mapa solar del Ecuador 2019*. Quito: Scinergy.
- Vargas, Y. R. (2011). *Análisis de la evotranspiración real en el cultivo de rosa*. Bogotá.
- Venegas, M., Villicaña, E., & Arrieta, L. (2015). Quantification and characterization of solar radiation at the departament of La Guajira-Colombia by calculating atmospheric transmissivity. *Prospect*, Vol 13, N° 2, 54-63.
- Veziñ, T., Meunier, S., Quéval, L., Cherni, J., Vido, L., Darga, A., . . . Marchand, C. (2020). Borehole water level model for photovoltaic water pumping systems. *Applied Energy*.
- Wald, L. (2007). Solar radiation energy (fundamentals). *Encyclopedia of life Support Systems (EOLSS)*. Solar Energy conversion and photoenergy Systems.
- Yingdong, Y., Jiahong, L., Hao, W., & Miao, L. (2018). Assess the potential of solar irrigation systems for sustaining pasture lands in arid regions – A case study in Northwestern China. *Applied Energy*, 3176-3782.
- Zavala, V., Lopez, R., Reza, J., Martinez, J., & Lao, M. (2020). Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation system. *Applied Energy*.
- Zhang, B., Jiang, H., & Han, X. (2015). Study on Corn Water Saving Irrigation Decision-making Model. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 9-12.

ANEXOS